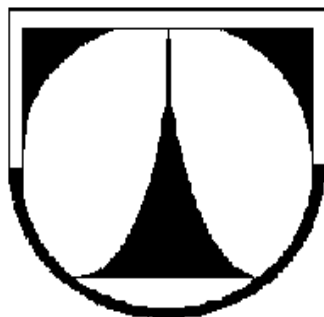


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Liberec 2008



Eva Tabačková

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta textilní**

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní materiálové inženýrství

**Elektrostatické zvlákňování kyseliny polyakrylové a možnosti  
začlenění MDOC pro použití v obvazových materiálech.**

**Electrospinning of polyacrylic acid and possibility of  
incorporation of MDOC for use in wound dressing.**

|                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| Autor:                   | Eva Tabačková                    |
| Vedoucí diplomové práce: | Prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc. |
| Konzultant:              | Ing. Jana Růžičková              |

**Rozsah práce a příloh:**

Počet stran: 64

Počet obrázků: 24

Počet tabulek: 5

Počet příloh: 6

## **Zadání**

**NÁZEV:** Elektrostatické zvlákňování kyseliny polyakrylové a možnosti začlenění MDOC pro použití v obvazových materiálech.

Vedoucí DP: Prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Konzultant: Jana Růžicková

1. Prostudujte dostupnou literaturu o elektrostatickém zvlákňování roztoků polymerů, charakteristikách nanovláken a vrstev nanovláken.
2. Připravte roztoky kyseliny polyakrylové s různými aditivami a roztoky kyseliny polyakrylové s MDOC opět s různými aditivami.
3. Studujte vliv koncentrace aditiv a MDOC na výkon elektrostatického zvlákňování a na geometrické charakteristiky vrstev z nanovláken.

Literatura:

Morawetz H.: Chování makromolekul v roztoku. Academia, Praha 1971

Huang Z.-H., Zhang Y.-Z., Kotaki M., Ramakrishna S.: A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, Composites Science and Technology, Volume 63, Issue 15, November 2003, Pages 2223-2253.

Frenot A., Chronakis I.S.: Polymer nanofibers assembled by electrospinning, Current Opinion in Colloid & Interface Science, Volume 8, Issue 1, March 2003, Pages 64-75.

Koski A., Yim K., Shivkumar S.: Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning, Materials Letters, Volume 58, Issues 3-4, January 2004, Pages 493-497.

Deitzel J.M., Kleinmeyer J., Harris D., Beck Tan N.C.: The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles, Polymer, Volume 42, Issue 1, January 2001, Pages 261-272.

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová* práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 12.05.2008

.....

podpis

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala panu Prof. RNDr. Oldřichu Jirsákovi, CSc., za odbornou pomoc a za cenné rady a připomínky při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat mé konzultantce Ing. Janě Růžičkové za její trpělivost, rady a připomínky při zpracování této práce, která mě po celou dobu vedla.

Dále děkuji své rodině za podporu poskytovanou v průběhu celého studia i při psaní této diplomové práce.

## Anotace

V současné době jsou ve vztahu k obvazovým materiálům stále častěji zmiňovány tzv. hydrogely. Jde v podstatě o materiály, jež jsou složeny z permanentní trojrozměrné sítě tvořené hydrofilním polymerem a prostory mezi řetězci jsou vyplněné molekulami vody. Použití těchto materiálů je možné nalézt v různých oblastech, například v obvazových materiálech, v zubní a oční medicíně, v systémech cíleného doručení léčiv, implantátech apod. Jedním z polymerů použitelných pro tvorbu hydrogelů je kyselina polyakrylová (PAA), proto se tato diplomová práce zabývá možností jejího zvláknování, síťování a začlenění léčiv (MDOC) do takto vyrobených nanovláken.

**Klíčová slova:** polyakrylová kyselina, elektrostatické zvláknování, nanovlákná, mikro – dispergovaná oxidovaná celulóza, síťování

## Anotation

There are hydrogels often mentioned in relation to the wound healing at the present time. It is actually permanent three dimensional network of hydrophilic polymer and space between chains is filled by water molecules. Use of these materials is possible to find in different areas, for example in dental and ophthalmic medicine, drug delivery systems, implants etc. One of polymers usable for hydrogel production is polyacrylic acid (PAA) that is why this diploma work is engaged in possibilities of its electrospinning, crosslinking and incorporation of drugs (MDOC) into the structure of such produced materials.

**Keywords:** polyacrylic acid, electrospinning, nanofibers, Micro – Dispersed Oxidised Celulose, crosslinking

## Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>                                     | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>Teoretická časť .....</b>                          | <b>12</b> |
| 2.1      | Elektrostatické zvlákňovanie .....                    | 12        |
| 2.1.1    | Metóda Nanospider .....                               | 13        |
| 2.1.2    | Zvlákňovanie z tyčinky .....                          | 14        |
| 2.2      | Roztoky polymérov .....                               | 14        |
| 2.2.1    | Chovanie sa polymérov v roztokoch.....                | 15        |
| 2.3      | Viskozita .....                                       | 16        |
| 2.3.1    | Viskozita kvapalín.....                               | 16        |
| 2.4      | Polyméry použité pri zvlákňovaní .....                | 20        |
| 2.4.1    | Kyselina polyakrylová (PAA).....                      | 20        |
| 2.5      | MDOC (Micro - Dispersed Oxidised Cellulose).....      | 23        |
| 2.5.1    | Celulóza .....  | 23        |
| 2.5.2    | Reakcie celulózy .....                                | 25        |
| 2.5.3    | m•doc™ (Micro - Dispersed Oxidised Cellulose).....    | 25        |
| 2.6      | Sieťovanie polymérov .....                            | 27        |
| 2.7      | Hydrogély.....  | 28        |
| 2.7.1    | Hydrogély ako biomateriály.....                       | 29        |
| 2.7.2    | Biodegradabilné hydrogély .....                       | 30        |
| <b>3</b> | <b>Experimentálna časť .....</b>                      | <b>31</b> |
| 3.1      | Priebeh experimentu.....                              | 31        |
| 3.2      | Použité polyméry a sieťovadlá.....                    | 32        |
| 3.2.1    | Polyvinylalkohol (PVA).....                           | 32        |
| 3.2.2    | Polyetylénoxid.....                                   | 33        |
| 3.2.3    | Glycerín.....   | 34        |
| 3.2.4    | m•doc™ (Micro - Dispersed Oxidised Cellulose).....    | 35        |
| 3.3      | Použité metódy, prístroje, programy a zariadenia..... | 35        |
| 3.3.1    | Guličkový viskozimeter HAAKE .....                    | 35        |
| 3.3.2    | Rotačný viskozimeter VISCO BASIC Plus .....           | 36        |
| 3.3.3    | Rastrovací elektrónový mikroskop VEGA TS 5130.....    | 37        |
| 3.3.4    | Obrazový analyzátor LUCIA G .....                     | 38        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4      | Výpočty použité pri meraní.....                               | 39        |
| 3.4.1    | Plošná hmotnosť.....  | 39        |
| 3.4.2    | Výkon zariadenia Nanospider .....                             | 39        |
| 3.5      | EXPERIMENT 1 .....  | 40        |
| 3.5.1    | Príprava polymérnych roztokov .....                           | 40        |
| 3.5.2    | Parametre roztokov .....                                      | 40        |
| 3.5.3    | Zvlákňovanie polymérnych roztokov.....                        | 43        |
| 3.5.4    | Priemer nanovláken.....                                       | 45        |
| 3.5.5    | Výkon zariadenia Nanospider .....                             | 46        |
| 3.5.6    | Sieťovanie a testovanie rozpustnosti v destilovanej vode..... | 47        |
| 3.5.7    | Kontrakcie vzoriek .....                                      | 49        |
| 3.6      | EXPERIMENT 2 .....  | 52        |
| 3.6.1    | Príprava a sieťovanie polymérnych roztokov .....              | 52        |
| 3.6.2    | Diskusia výsledkov .....                                      | 54        |
| <b>4</b> | <b>Záver .....</b>  | <b>59</b> |
|          | <b>Použitá literatúra.....</b>                                | <b>61</b> |



## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

### Symbols:

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| $m$ [kg]                                 | hmotnosť                         |
| $V$ [m <sup>3</sup> ]                    | objem                            |
| $v$ [m.s <sup>-1</sup> ]                 | rýchlosť                         |
| $\tau$ [Pa]                              | šmykové napätie                  |
| $dy$ [m]                                 | vzdialenosť jednotlivých vrstiev |
| $dv$ [m.s <sup>-1</sup> ]                | rozdiel rýchlostí vrstiev        |
| $\eta$ [N.s.m <sup>-2</sup> ]            | dynamická viskozita              |
| $\phi$ [1/Pa.s]                          | fluidita                         |
| $\nu$ [m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ] | kinematická viskozita            |
| $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]             | hustota                          |
| $\rho_1$ [kg.m <sup>-3</sup> ]           | hustota guličky                  |
| $\rho_2$ [kg.m <sup>-3</sup> ]           | hustota kvapaliny                |
| $\eta_0$ [Pa.s]                          | viskozita disperzného prostredia |
| $\eta_r$ [Pa.s]                          | relatívna viskozita              |
| $\eta_{sp}$ [Pa.s]                       | špecifická viskozita             |
| $\eta_{red}$ [Pa.s]                      | redukovaná viskozita             |
| $F$ [N]                                  | sila                             |
| $r$ [mm]                                 | polomer guličky                  |
| $g$ [m.s <sup>-2</sup> ]                 | gravitačné zrýchlenie            |
| $K$ [-]                                  | konštanta pre jednotlivé guličky |
| $\bar{d}$ [nm]                           | priemerná hodnota                |
| $s$ [nm]                                 | smerodatná odchýlka              |
| $v$ [%]                                  | variačný koeficient              |
| $min$ [nm]                               | minimálna hodnota                |
| $max$ [nm]                               | maximálna hodnota                |

### **Skratky:**

|               |   |
|---------------|---|
| <i>MDOC</i>   | mikro – dispergovaná oxidovaná celulóza |
| <i>PAGA</i>   | polyanhydroglukuronová kyselina         |
| <i>PAA</i>    | kyselina polyakrylová                   |
| <i>PVA</i>    | polyvinylalkohol                        |
| <i>PEO</i>    | polyethylénoxid                         |
| <i>Gly</i>    | glycerín                                |
| $C_2H_4O$     | ethylénoxid                             |
| $C_3H_8O_3$   | glycerín, glycerol                      |
| $H_3PO_4$     | kyselina fosforečná                     |
| $H_2PO_4^-$   | dihydrogénfosforečnanový aniont         |
| $HPO_4^{2-}$  | hydrogénfosforečnanový aniont           |
| $PO_4^{3-}$   | anhydrogénfosforečnan                   |
| <i>MDIC</i>   | macrodiisokyanát                        |
| <i>DO</i>     | oligomethandiisokynát                   |
| <i>a pod.</i> | a podobne                               |
| <i>tzv.</i>   | takzvane                                |
| <i>napr.</i>  | napríklad                               |
| <i>Obr.</i>   | obrázok                                 |
| <i>Tab.</i>   | tabuľka                                 |
| <i>hm.%</i>   | hmotnostné percentá                     |

# 1 Úvod

Aj keď si to možno niekedy neuvedomujeme, oblasť nanotechnológií sa v posledných rokoch stále viac a viac stáva súčasťou skoro každodenného života nás všetkých. S nanotechnológiami sa môžeme stretnúť v rôznych odvetviach, a to od techniky a elektroniky cez stavebníctvo až k biológii a medicíne.

Oblasť nanotechnológie, ktorú v malej miere skúma táto práca, sa týka výroby nanovláken. Tieto vlákna sa vyrábajú elektrostatickým zvlákňovaním a ich priemery sa pohybujú v desiatkach až stovkách nanometrov.

Je potrebné uviesť, že táto práca sa nezaoberá čisto textilnou problematikou, ale zasahuje i do oblasti polymérov a medicíny. Konkrétne sa týka plošných materiálov vyrobených z nanovláken, ktoré sú hemostatické a zastavujú krvácanie po operáciách. Ďalšou potrebnou funkciou týchto materiálov je, aby pri krytí vnútorných rán zabránili zrastaniu orgánov po operáciách. Následne má dôjsť k rozkladu materiálu bez vedľajších produktov. Práca by tiež mala byť prínosom vo vývoji materiálov a náplasti k hojeniu rán, ktoré vyžadujú vlhké prostredie. Tieto materiály sú označované ako hydrogély.

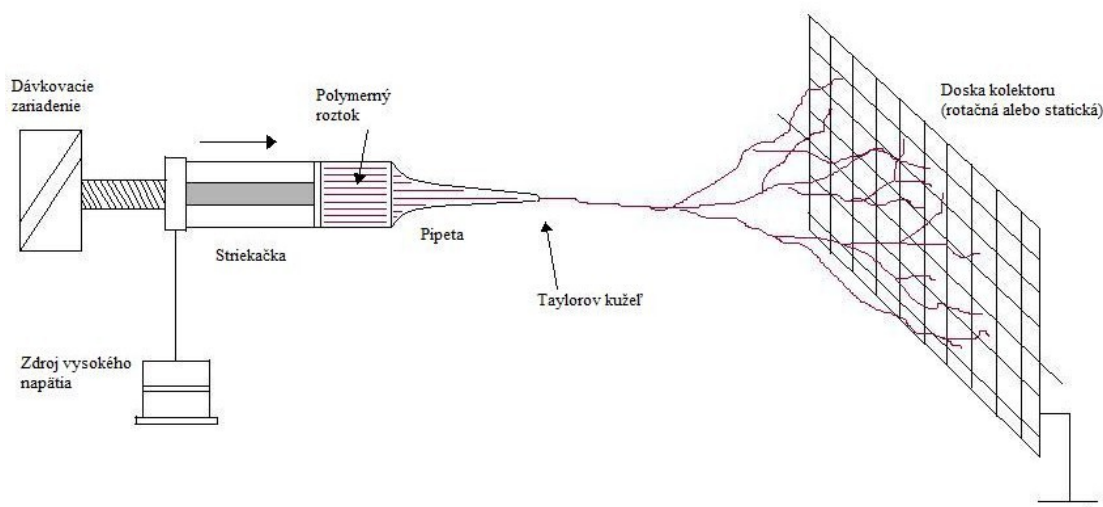
Cieľom práce bolo nájsť možnosti zvlákňovania kyseliny polyakrylovej s rôznymi činidlami a následné začlenenie liečiv (MDOC). Tento polymér bol použitý preto, že z hľadiska jeho štruktúry, možno očakávať nové, lepšie vlastnosti. Konkrétne ide o schopnosť, vďaka ktorej kyselina polyakrylová po zosieťovaní, dokáže vo svojej štruktúre viazať vodu a vytvárať tak nabobtnalý gél. Spolu s jej schopnosťami a vlastnosťami samotných nanovláken, ktoré umožňujú vďaka svojmu rozmeru rýchlejšie uvoľňovanie liečiva zo svojej štruktúry, sa naskytajú nové možnosti pre tvorbu týchto vrstiev.

## 2 Teoretická časť

### 2.1 Elektrostatické zvlákňovanie

Elektrostatické zvlákňovanie je oblasť, ktorej sa v poslednej dobe venuje veľká pozornosť. Tento proces je popísaný v rôznych literatúrach a materiáloch, a preto bude v tejto časti popísaný veľmi stručne.

Elektrostatické zvlákňovanie je technológia, ktorá využíva elektrostatické sily k utváraniu jemných vlákien z polymérneho roztoku alebo polymérnej taveniny (schéma tohoto princípu je na *Obr. 1*). Pri tomto procese vznikajú nanovlákná. Ide o vlákna, ktorých priemer sa pohybuje v rozsahu nanometrov, sú to tzv. submikronové vlákna. Tieto vlákna sa vyznačujú veľkýmmerným povrchom, vysokou pórozitou, malou veľkosťou pórov a priemerom vlákien do 1000 nm. Materiálmi pre výrobu sú polymérne roztoky alebo taveniny. Doposiaľ bolo touto metódou zvláknených viac ako 50 polymérov [1].



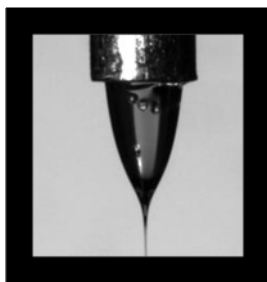
*Obr. 1 Schéma princípu elektrostatického zvlákňovania[2].*

Podstatou procesu elektrostatického zvlákňovania je využitie vysokého napätia k vytvoreniu elektricky nabitého prúdu polymérneho roztoku alebo taveniny. Elektróda vysokého napätia je spojená priamo s polymérnym roztokom. Roztok je následne zvláknený kapilárou (zvlákňovacou tryskou). Vďaka vysokému elektrickému napätiu medzi špičkou kapiláry a uzemneným kolektorom vzniká tzv. Taylorov kužeľ (*Obr. 2*)

na špičke kapiláry, z ktorého sú produkované submikronové vlákna. Vlákna stuhnú po odparení rozpúšťadla a vytvoria vlákennú vrstvu na povrchu kolektoru.

Pri procese elektrostatického zvlákňovania treba brať ohľad na rôzne faktory, ktoré ho môžu ovplyvňovať. Je to napríklad vplyv:

- elektrického napätia,
- koncentrácie a viskozity polymérneho roztoku,
- molekulovej hmotnosti polymérneho roztoku,
- povrchového napätia polymérneho roztoku,
- procesnej vzdialenosti kapilára – kolektor,
- obsahu aditív v polymérnom roztoku na morfológiu výslednej vlákenej vrstvy [1].



*Obr. 2 Taylorov kužel [2].*

### **2.1.1 Metóda Nanospider**

Výroba nanovláken touto metódou bola vyvinutá na Technickej univerzite v Liberci na Katedre netkaných textílií.

Princíp spočíva v poznatku, že Taylorove kužele je možné vytvoriť aj na tenkej vrstve polymérneho roztoku. Nepoužíva sa teda formovanie vlákien pomocou trysky alebo kapiláry, a preto je jeho produktivita podstatne vyššia [1].

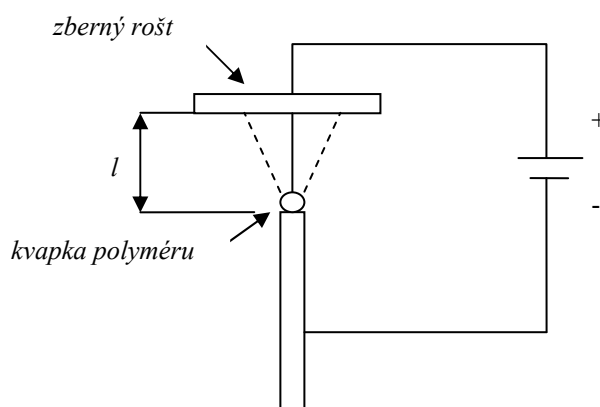
Základným prvkom stroja sú dve elektródy, medzi ktorými existuje elektrostatické pole. Spodná elektróda má tvar valca, ktorý je ponorený do roztoku polyméru. Valec sa otáča a vynáša tenkú vrstvu roztoku do elektrostatického poľa, ktoré z roztoku vytiahne dlhé vlákna až k druhej elektróde. Tu vlákna narazia na podkladovú textíliu, na ktorú sú vynášané von zo stroja. V podstate ide o veľmi jednoduchý princíp, v ktorom pomocou elektrostatických síl, dochádza k vydĺženiu vlákna z polyméru

na podklad. Podstatné sú však i vlastnosti polyméru. Rada parametrov ako napríklad ich vodivosť alebo viskozita, musia byť nastavené tak, aby proces výroby nanovláken fungoval. [3]

V tejto práci boli jednotlivé experimenty robené dvoma spôsobmi. Jedným z nich bola už spomínaná metóda Nanospider. Ďalšou bola metóda zvlákňovania z tyčinky, ktorá je nasledovná:

### 2.1.2 Zvlákňovanie z tyčinky

Princíp spočíva v umiestnení kvapky polyméru na kovovú tyčinku kruhového priemeru, ktorá je spojená s elektródou. Nad tyčinkou je vo vzdialenosti  $l$  umiestnená protielektroda, ktorá slúži ako zberný rošt. Po privedení elektrického prúdu sa tvoria na povrchu kvapky Taylorove kužele, z ktorých sa tvoria vlákna. Tie dopadajú na zberný rošt ako je znázornené na *Obr. 3*.



*Obr. 3 Zvlákňovanie z tyčinky.*

## 2.2 Roztoky polymérov

Roztokom rozumieme homogénnu sústavu, skladajúcu sa najmenej z dvoch zložiek, ktorých pomer sa môže v určitých rozmedziach plynule meniť. Zložkami roztoku sú rozpúšťadlo a rozpustené látky. Rozpúšťadlom označujeme spravidla tú látku, ktorá je v porovnaní s ostatnými látkami v nadbytku [4].

### 2.2.1 Chovanie sa polymérov v roztokoch

Pri vytváraní roztokov z makromolekulárnych látok je výhodou ak je daná látka rozpustná vo vode, pretože je považovaná za najčastejšie rozpúšťadlo a je netoxická.

Pri rozpúšťaní dochádza k rozpusteniu najvyššieho množstva danej látky za vzniku určitého množstva roztoku. Obvykle sa vyjadruje v 1 g látky na 100 g roztoku. Rozpustnosť látok je závislá napríklad na type rozpúšťadla, teplote a tlaku [5].

Podstata rozpúšťania spočíva v tom, že pri rozpúšťaní vždy vzrastá voľnosť pohybu molekúl rozpúšťanej látky. Molekuly rozpúšťadla prenikajú medzerami do vnútra polyméru a spôsobujú parciálnu solváciu úsekov reťazcov. Proces rozpúšťania prebieha pomaly, takže polymér najprv nabobtná. Pri ponechaní polyméru v rozpúšťadle, po určitý čas, možno pozorovať prechod od nabobtnalého gélu cez silne viskózný roztok až k zriedenému roztoku [6].

Týmto spôsobom prebieha rozpúšťanie v dobrých rozpúšťadlách, ktoré sú miešateľné s makromolekulárnou zlúčeninou vo všetkých pomeroch. Makromolekula sa snaží vystaviť pôsobeniu rozpúšťadla čo najviac svojich častí. Stredná vzdialenosť koncov, a teda aj objem makromolekulárneho kĺbka sa zväčšuje – bobtná.

V zlých rozpúšťadlách je kĺbko viac zvinuté, pretože skôr dochádza k vytváraniu kontaktov medzi jednotlivými segmentami makromolekuly, ako k ich styku s molekulami rozpúšťadla [7, 6].

Rozpúšťanie makromolekúl spočíva teda v tom, že jednotlivá molekula je obklopená molekulami rozpúšťadla a podľa koncentrácie sa môže viac či menej voľne v roztoku pohybovať [6].

Z vyššie uvedeného teda vyplýva, že v taveninách a roztokoch polymérov (amorfný fázový stav) sú polymérne reťazce v tvare štatistického kĺbka s rôznym stupňom zvinutia. Vytvárajú početné konformácie a preskupenia, ktoré určujú ohybnosť reťazca a intermolekulové reťazce a intermolekulové interakcie.

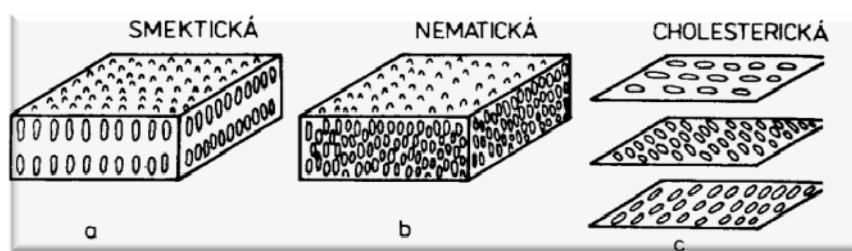
Vzájomné usporiadanie reťazcov polymérov môže existovať v podstate na troch úrovniach:

- amorfná, so štatistickým rozložením segmentov reťazcov polymérov,
- mezomorfna, s dvojrozmerným rozložením segmentov reťazcov polymérov,

- kryštalická, reprezentujúcom trojrozmernú periodickosť usporiadania reťazcov polymérov.

Ak sa hovorí o kvapalno - kryštalickom stave polymérov v roztoku nad ich kritickou koncentráciou, myslí sa tým mezomorfne usporiadanie, ktoré môže mať tri úrovne [8], ktoré sú znázornené na *Obr. 4*:

- nematické,
- smectické,
- cholesterické.



*Obr. 4 Schématické znázornenie mezomorfneho usporiadania polymérov s kvapalno - kryštalickou štruktúrou [9].*

## 2.3 Viskozita

Viskozita je jedna zo základných charakteristík kvapalného skupenstva hmoty. Vyjadruje odpor kvapaliny voči toku, je prejavom istého vnútorného trenia kvapaliny. Čím vyššiu má kvapalina viskozitu, tým horšie tečie [10].

### 2.3.1 Viskozita kvapalín

Kvapaliny sú látky, ktoré sa účinkom i malej vonkajšej sily trvalo deformujú – tečú. Rýchlosť toku kvapaliny je tým väčšia, čím väčšia je vonkajšia sila a čím menšie sú vnútorné sily, ktoré pôsobia proti toku. Vnútorné trenie vzniká v kvapaline ako dôsledok tepelného pohybu a medzimolekulárnych príťažlivých síl. Pri malých rýchlostiach prúdenia (laminárne prúdenie) sa tok kvapalín uskutočňuje ako šmyková deformácia, ktorá charakterizuje zmenu materiálu pri šmykovom napätí. Pri laminárnom prúdení reálnej tekutiny vzniká v dôsledku medzimolekulárnych síl v stykovej ploche



dvoch vrstiev pohybujúcich sa rôznou rýchlosťou  $v$  šmykové napätie  $\tau$ , ktorým sa snaží rýchlejšia vrstva urýchľovať vrstvu pomalšiu a tá naopak spomaľovať vrstvu rýchlejšiu.

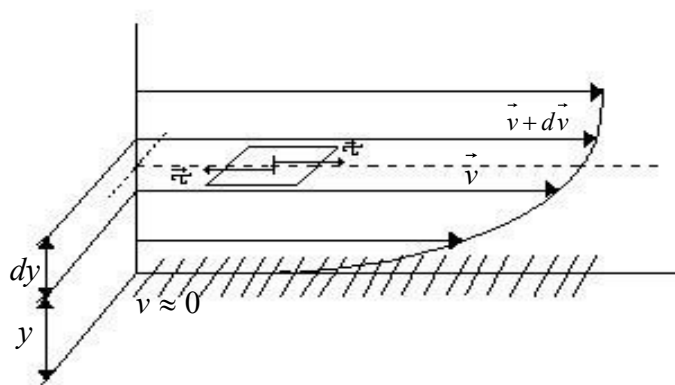
Podľa Newtona je toto šmykové napätie priamo úmerné gradientu rýchlosti  $\frac{dv}{dy}$ , tj. prírastku rýchlosti  $dv$  medzi dvoma priliehajúcimi vrstvami deleného vzdialenosťou vrstiev  $dy$ . Platí:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad [\eta] = Pa \cdot s \quad kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \quad (5)$$

kde konštanta úmernosti  $\eta$  sa nazýva dynamická viskozita [ $N \cdot s \cdot m^{-2}$ ],  $\tau$  je šmykové napätie paralelné s laminárnym tokom [Pa],  $v$  je rýchlosť v smere  $x$  [ $m \cdot s^{-1}$ ],  $\frac{dv}{dy}$  je gradient rýchlosti [ $s^{-1}$ ] [11].

Dynamická viskozita je látkovou charakteristikou, ktorej hodnota závisí na teplote a tlaku. U plynov s teplotou rastie, u kvapalín naopak klesá. V sústave SI je jednotkou pascal sekunda  $Pa \cdot s = kg/m \cdot s$ . Skôr sa dynamická viskozita udávala najčastejšie v poisocho P alebo centipoisocho cP. Platí  $1 Pa \cdot s = 10 P$ . Prevrátená hodnota dynamickej viskozity  $\phi = 1/\eta$  sa nazýva **fluidita** (tekutosť) [12].

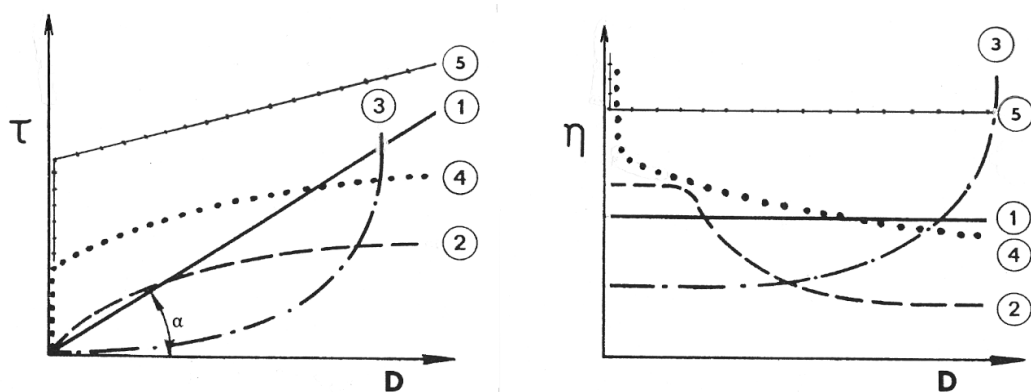
Grafické znázornenie rozdelenia rýchlostí v priečnom reze prúdiacou tekutinou určuje rýchlostný profil (Obr. 5).



Obr. 5 Rýchlostný profil v prúdiacej kvapaline [11].

Smernica dotyčnice v každom bode tohto profilu udáva nielen gradient rýchlosti ale i dotyčnicové napätie  $\tau$ . Tekutiny, pre ktoré platí priama úmernosť vo vzťahu (5) nazývame newtonské a sú to spravidla nízkomolekulárne látky. Viskozita týchto kvapalín nezávisí na viskóznom napätí. Ostatné nazývame nenewtonské. Toto chovanie nenewtonských kvapalín sa môže plne charakterizovať pri určitej teplote len na základe tokovej krivky (reogramu), ktorá popisuje tokové chovanie v závislosti na šmykovom napätí a šmykovej rýchlosti pre širšiu oblasť hodnôt (Obr. 6). Podľa chovania sa nenewtonské kvapaliny rozdeľujú na [11, 12]:

- pseudoplastické a dilatantné – viskozita je závislá na šmykovej rýchlosti,
- binghamské – kvapaliny vykazujúce mez toku,
- tixotropné a reopexné – kvapaliny s časovo závislou viskozitou.



Obr. 6 Tokové a viskozitné charakteristiky niektorých nenewtonských kvapalín 1- newtonská kvapalina, 2- štruktúrne viskózna kvapalina (pseudoplastická), 3- dilatantná kvapalina, 4 - plastická kvapalina (pseudoplastická s medzou toku), 5- binghamská kvapalina [12].

V hydrodynamických rovniciach sa často používa kinematická viskozita  $\nu$  definovaná vzťahom [11], ktorý zároveň vyjadruje vzťah medzi dynamickou a kinematickou viskozitou:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho_k} \quad [\nu] = m^2 \cdot s^{-1} \quad (6)$$

kde  $\nu$  je kinematická viskozita [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],  $\eta$  je dynamická viskozita [Pa.s], [N.s.m<sup>-2</sup>],  $\rho_k$  je hustota danej tekutiny [ $kg \cdot m^{-3}$ ] [11].

Alternatívnou jednotkou pre kinematickú viskozitu je *stokes* (skratka S alebo St) [13].

$$1 \text{ stokes} = 0.0001 \text{ m}^2 \cdot s^{-1}$$

Kinematickú viskozitu je výhodné používať i pri popisoch dejov závisiacich jednak na viskozite, ale aj hustote, napr. pri popise hydrodynamiky kvapalín [12].

### 2.3.1.1 Viskozita roztokov makromolekulárnych látok

Roztoky makromolekulárnych látok sú systavy tvorené rozpúšťadlom (disperzným prostredím – spojitá fáza) a makromolekulami (disperzným podielom – rozptýlená fáza). Systavy, ktoré obsahujú aspoň dve fázy alebo zložky, sa označujú ako disperzná sústava. Podľa veľkosti častíc je možné roztoky makromolekulárnych látok zaradiť medzi koloidné disperzné systémy ( $10^{-9}$  -  $10^{-6}$  m).

Z hľadiska ich chovania pri toku patria roztoky makromolekulárnych látok medzi nenewtonské kvapaliny. Pre vystihnutie odlišností od newtonského chovania sa pri popisovaní viskozity disperzných sústav používajú tieto veličiny [11]:

**Rrelatívna viskozita  $\eta_r$**  – v prípade koloidných disperzií je  $\eta_r > 1$ :

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (7)$$

kde je  $\eta$  viskozita disperznej sústavy [Pa.s],  $\eta_0$  viskozita disperzného prostredia [Pa.s],

**Špecifická viskozita  $\eta_{sp}$**  – udáva pomerný prírastok viskozity:

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \quad (8)$$

**Redukovaná viskozita  $\eta_{red}$** :

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (9)$$

kde  $c$  je koncentrácia (hmotnostná, molárna, objemový zlomok),

Limitné viskozitné číslo  $[\eta]$  [ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ ]:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (10)$$

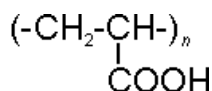
Viskozita disperzných sústav sa líši od viskozity čistého disperzného prostredia, čo je spôsobené prítomnosťou disperzného podielu (častíc), ktorého rozmery molekúl sú väčšie než rozmery molekúl disperzného prostredia. Prítomnosť častíc spôsobuje, že sa menia dráhy jednotlivých molekúl prúdiacej kvapaliny a napomáha tak premiešaniu vrstiev.

S rastúcou molekulovou hmotnosťou disperzného podielu rastie viskozita disperzných sústav [11].

## 2.4 Polyméry použité pri zvlákňovaní

### 2.4.1 Kyselina polyakrylová (PAA)

Kyselina akrylová je bezfarebná, číra kvapalina s charakteristickým zápachom. Jej triviálny názov je prop-2-énová, sumárny vzorec je  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ . Pri vyšších teplotách ľahko polymerizuje, pri teplote menšej ako  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  tuhne. Pripravuje sa oxidáciou propénu s kyslíkom v plynnom prostredí. Je neobmedzene miešateľná s vodou. Koncentrovaná kyselina polyakrylová je silná žieravina. Pri priamom styku leptá pokožku a sliznicu. Vo forme aerosólov a pár sa vstrebáva aj neporušenou pokožkou a veľmi silno dráždi pokožku aj sliznicu dýchacích ciest a očí [15]. Štruktúrny vzorec kyseliny polyakrylovej je na Obr. 7 [14].



Obr. 7 Štruktúrny vzorec kyseliny polyakrylovej [14].

Tento polymér bol použitý v celom experimente ako hlavná zložka. Konkrétne bol použitý 35 hm.% Sokolan PA 110 S s M.H. 250 000 g/mol od firmy BASF.

#### 2.4.1.1 Použitie

Polyakrylová kyselina sa používa ako zahusťovalo, pomocná látka pre náterové hmoty, textilné pomocné prostriedky, lepidla, flokulanty. Sodné soli čiastočne zosieťovanej kyseliny polyakrylovej sú podstatou tzv. superabsorbentov ( 1 g polyméru pohltí až niekoľko sto gramov vody ) [15].

Býva súčasťou akrylátových kopolymérov vo vodných disperziách. Zvyšuje ich znášateľnosť s pigmentmi a zlepšuje adhéziu filmov k podkladu [16].

Ďalšie využitie akrylátov je napríklad v umeleckej technike, kde dochádza k vývoju a zdokonaľovaniu už od 50. rokov 20. storočia [17].

V kozmetických výrobkoch sa používa ako nepriepustná bariéra vlhkosti, aby udržovala pleť hydratovanú a nestrácala vodu. Akrylová kyselina má tiež vodeodolný a voduodpuďujúci účinok [18].

V medicíne sa polyakryláty využívajú už mnoho rokov, napr. na výrobu šošoviek a rôznych implantačných materiálov. Pre svoju stabilitu a vysokú biokompatibilitu sa používajú vo forme polyakrylátových gelov. Navyše predstavujú unikátnu kombináciu viskozity a elasticity, čo umožňuje jednoduchú aplikáciu [19]. Ako je uvedené v článku [20], kyselina polyakrylová nachádza svoje uplatnenie aj v oblasti stomatológie ku zhotovovaniu výplní v stálom chrupe, ku zhotovovaniu sendvičových výplní, pre výplne v dočasnom chrupe, ku zhotovovaniu podložiek, dostavieb a dočasných výplní.

Podľa [16] sa kyselina polyakrylová v kombinácii s polyetylén glykolom používa vo forme hydrogélu, k tvorbe umelej rohovky.

#### **2.4.1.2 Karboxylové kyseliny**

Svojou štruktúrou sa kyselina polyakrylová radí medzi karboxylové kyseliny. Vo svojom reťazci obsahuje karboxilovú skupinu – COOH, ktorá je formálne tvorená spojením karbonylovej skupiny a hydroxylovej skupiny. Interakcia oboch týchto častí jej skupiny mení ich chemické vlastnosti tak, že celá karboxylová skupina sa považuje za novú funkciu s vlastnými charakteristickými vlastnosťami.

Názvoslovie sa používa buď triviálne, ako napr. kyselina mravčia, alebo systematické, pomocou prípony - ová kyselina alebo - karboxylová kyselina.

Rozdelenie karboxylových kyselín:

a) podľa uhlíkovodíkového reťazca:

- alifatické (mastné), ktoré môžu byť nasýtené alebo nenasýtené,
- alicyklické,

- aromatické.
- b) podľa počtu karboxylových skupín rozdeľujeme karboxylové kyseliny na mono- , di- ,tri- , až polykarboxylové kyseliny.

### Vlastnosti karboxylových kyselín

- a) **fyzikálne:** Nižšie karboxylové kyseliny sú kvapaliny ostrej vône, s vodou sa miešajú v každom pomere. Stredné kyseliny sú olejovité kvapaliny nepríjemného zápachu, vyššie sú pevné látky nerozpustné vo vode. Podobne ako pri alkoholoch, molekuly sú asociované vodíkovými mostíkmi (vo forme diméru).
- b) **chemické:** Presun elektrónov - väzbového orbitálu karboxylovej skupiny na elektronegatívnejší kyslík vyvoláva polarizáciu väzby - OH, čo sa prejavuje kyslým charakterom karboxylových kyselín.

Možnosť delokalizácie náboja (rovnomé rozdelenie na kyslíkových atómov) stabilizuje ionizovaný karboxyl. Napriek tomu karboxylové kyseliny sú slabými kyselinami. Hodnotu konštanty ionizácie ovplyvňuje prítomnosť substituentov v uhlíkovodíkovom reťazci (+I a -I efekt). Dikarboxylové kyseliny ionizujú do dvoch stupňov. Do prvého stupňa sú silnejšími kyselinami ako monokarboxylové kyseliny [21].

### Soli karboxylových kyselín

Neutralizáciou s hydroxidmi (alebo uhličitanmi) vznikajú soli karboxylových kyselín. Význam majú sodné a draselné soli vyšších mastných kyselín (stearová, palmitová), ktoré sa používajú ako mydlá [21].

### Výskyt a vznik karboxylových kyselín

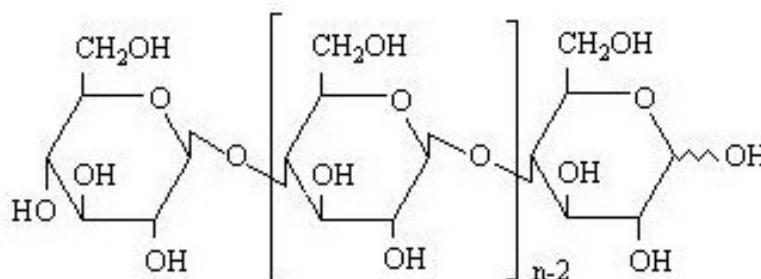
V prírode sú hojne rozšírené, väčšinou viazané vo forme solí a derivátov. Laboratórne vznikajú oxidáciou primárnych alkoholov cez aldehydy [21].

## 2.5 MDOC (Micro - Dispersed Oxidised Cellulose)

MDOC - mikrodisperzná oxidovaná celulóza je kopolymér polyanhydroglukózy a polyanhydroglukuronovej kyseliny (PAGA). Je produktom patentovanej technológie firmy *Alltracel Pharmaceuticals Plc*. MDOC je mikrodisperzná vápenato - sodná soľ oxidovanej celulózy (MDOC). Jedná sa o prírodné biokompatibilné, neutrálne a resorbovateľné hemostyptikum, ktoré sa vo forme prášku používa k liečbe kapilárneho a parenchymatózného krvácania spoločne s chirurgickou liečbou [22].

### 2.5.1 Celulóza

Celulóza je lineárny homopolymér, ktorý sa skladá z opakujúcich sa jednotiek  $\beta$ -D - glukopyranózy vzájomne prepojenej  $\beta$ -1,4 - glykosidickou väzbou. Jej štruktúrny vzorec je zobrazený na *Obr. 8*. Dĺžka reťazca celulózy značne kolíše. Priemerný polymeračný stupeň celulózy sa pohybuje medzi 8000-10000 [23]. Je to najbežnejší organický polymér [24]. V prírode sa celulóza vždy vyskytuje so sprievodnými látkami, a to pektocelolózou, lignocelulózou a kutocelulózou [25].



*Obr. 8 Štruktúrny vzorec celulózy [24].*

Z chemického hľadiska je celulóza polysacharid, ktorý je zložený z veľkého počtu navzájom spojených molekúl glukózy. V rastlinách je celulóza hlavnou zložkou *bunkových stien*, kde je súčasťou mnohých podporných štruktúr. Dodáva mechanickú pevnosť a odolnosť [26].

V molekule celulózy nie sú postranné reťazce ako je to napr. pri molekule škrobu. Absencia postranných reťazcov spôsobuje, že tieto lineárne molekuly ležia

blízko seba. Veľa voľných -OH skupín poskytuje veľa príležitostí na vytvorenie vodíkových väzieb medzi susediacimi molekulami celulózy [27].

Celulóza je hygroskopická, ľahko prijíma vodu a vlhne. V suchom stave je veľmi stála, avšak existuje rada mikroorganizmov, ktoré ju vedia rozložiť na jednoduché cukry a energeticky využiť (tieto mikrobiálne procesy sa uplatňujú pri hnití alebo tlení dreva) [26]. Niektoré baktérie môžu premeniť celulózu na ethanol, ktorý môže byť ďalej používaný ako palivo [24].

#### **2.5.1.1 Použitie celulózy**

Celulóza je hlavná podstata papiera, lepenky a textilného materiálu vyrobeného z bavlny, ľanu a ďalších rastlinných vlákien. Z celulózy sa tiež vyrába celofán, čo jest transparentná fólia, ktorá slúži predovšetkým ako transparentný obalový materiál. Umelý hodváb, čo jest dôležité vlákno, ktoré sa používa pre textilné materiály od začiatku 20. storočia. Oboje, celofán i umelý hodváb, sú známe ako "regenerované celulóзовé vlákna". Sú identické s chemickou štruktúrou celulózy a sú obvykle vyrobené z viskózy (viskózny roztok vyrobený z celulózy). Väčšie množstvo súčasných a environmentálne priateľských metód, ako produkovať umelý hodváb je postup, pri ktorom sa vlákna vyrábajú z buničiny dreva [24, 28].

Prevažná časť zušľachtenej buničiny a tiež bavlnenej celulózy sa používa na umelé celulóзовé vlákna (predovšetkým viskózové a acetátové). Ďalej rôzne celulóзовé deriváty predovšetkým estery a étery. Malé množstvá veľmi čistej celulózy sú aj naďalej využívané ako aditíva v nízkokalorických potravinách ako náhrada vláknin, vo farmácii k príprave liekových foriem tabliet, k analytickým metódam atď. [28].

Celulóza sa používa v laboratóriách ako stacionárna fáza pre tenké vrstvy v chromatografii. Je to surovina pre výrobu nitrocelulózy. Nitrocelulózy sú silne závislé na stupni nitrácie. Vyrába sa mono -, di - a tri - nitrát celulózy. Mono nitráty slúžia na výrobu fólií tzv. celuloidu, používaného pre filmový a fotografický film až do roku 1930. Di nitráty na prípravu lakov a vysoko nitrované deriváty slúžia k príprave strelného prachu [24, 28].



Celulóza sa používala pre výrobu hydrofilných a vysoko absorpčných húb a vodorozpusťných lepidiel, pre viazanie kníh ako methyl celulóza a carboxymethyl celulóza, ktorá sa používa ako lepidlo na tapety [24].

### 2.5.2 Reakcie celulózy

Celulóza je látka, ktorá je málo reaktívna, čo je dané jednak jej chemickým zložením, ale aj predovšetkým jej štruktúrou. Napriek tomu však poznáme jej početné zlúčeniny a deriváty.

Keďže je to vysoko polárna látka, nie je rozpustná takmer v žiadnom rozpúšťadle. Rozpúšťa sa v niektorých špeciálnych činidlách, napr. v amoniakálnom roztoku hydroxidu meďnatého (tzv. Schweizerovo činidlo) a v alkalických roztokoch vínanov [29].

Ak berieme v úvahu štruktúru celulózovej makromolekuly, môžeme rozlíšiť dva vplyvy chemických činidiel:

- 1) činidlá reagujú s hydroxylovými skupinami glukózových zostatkov, pri čom vznikajú étery alebo estery celulózy,
- 2) činidlá pozmeňujú, najčastejšie skracujú celulózový reťazec, pri čom vznikajú regenerované celulózy, hydrocelulózy a oxidované celulózy (reakcie odbúravaním).

Z reakcií odbúravania celulózy má najväčšiu dôležitosť hydrolýza glukosidických väzieb a oxidácia. Hydrolytické štiepenie prebieha v prítomnosti kyselín, zatiaľ čo k oxidácii môže dôjsť buď v alkalickom, kyslom alebo neutrálnom prostredí [29].

### 2.5.3 m•doc™ (Micro - Dispersed Oxidised Cellulose)

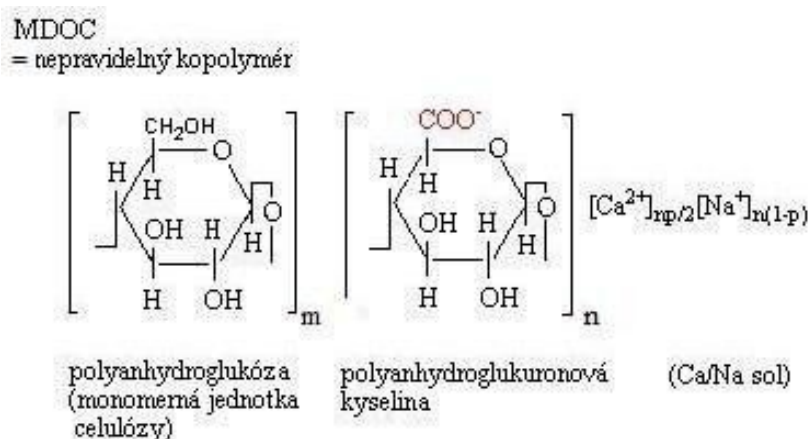
Prvé preparáty na základe oxidovanej celulózy boli prednostne vyvinuté a používané pre vojenské účely v priebehu II. svetovej vojny, a to nielen pre hemostatický efekt, ale tiež pre svoje hojivé účinky [30].

Celulóza a jej deriváty reprezentujú najbezpečnejšie a najlepšie tolerované polyméry vo farmaceutických produktoch. Prvá správa o použití oxidovanej celulózy ako hemostatického materiálu bola publikovaná behom druhej svetovej vojny, kedy Americkí vedci zistili, že celulóza, ktorá je sama o sebe ľudským organizmom

neodbúrateľná, môže po patričnom spracovaní slúžiť ako veľmi účinné a vstrebateľné hemostatikum [29].

Neutralizovaná forma oxidovanej celulózy, predovšetkým jej soli s mono a bivalentnými kationtmi (soli alkalických kovov a kovov alkalických zemín), je charakterizovaná neprítomnosťou systémovej toxicity vrátane absencie kožného a tkaninového podráždenia, keďže pH vodného extraktu je blízke neutrálnemu.

Predstaviteľom takejto formy celulózy je aktívna substancia MDOC, ktorá sa používa ako topický hemostatický prášok od roku 1998 vo forme spreja, obsahujúceho mikrodispergovanú Ca/Na soľ oxidovanej celulózy. Štruktúrny vzorec MDOC, je uvedený na *Obr. 9*. Tento materiál po kontakte s krvou alebo tkanivovou tekutinou ľahko vytvára hmotu podobnú gélu, schopnú pokryť krvácajúci povrch elasticou vrstvou a viesť k rýchlej zástave krvácania.



*Obr. 9 Štruktúrny vzorec MDOC [31].*

V mnohých experimentálnych štúdiách sa ukázalo, že tento produkt je absorbovateľný hemostatický materiál, dobre tolerovaný organizmom [32].

MDOC celkovo obsahuje 16 - 24 hmotnostných % karboxylových skupín, 4 -6% vápnika a 1,5 - 3,5 % sodíku (počítané na suchú látku) [32].

MDOC je jemný, biely, krémovo biely až nažltlý, hygroskopický prášok slabého zápachu. Je zmesou základných častíc o priemere menších než 5 μm, a ich aglomerátov

veľkosti okolo 20  $\mu\text{m}$ . Príležitostne sa môžu vyskytovať rezídua mikrovlákien s priemerom 20 - 30  $\mu\text{m}$  a dĺžky maximálne 80  $\mu\text{m}$ .

MDOC je nerozpustná v bežných organických rozpúšťadlách a zriedených minerálnych kyselinách. Je čiastočne rozpustná vo vode, miera rozpustnosti závisí na stupni polymerácie. Rozpúšťa sa v zriedených roztokoch hydroxidov. pH 1% vodné suspenzie látky je 4,5 – 6,5 [32].

V súčasnosti sa produkty oxidovanej celulózy používajú vo forme rôznych výrobkov. Medzi tieto preparáty sa radia výrobky niektorých zahraničných spoločností napr. Surgicel – fy Johnson and Johnson, ďalej sú to výrobky Bloodcare - BATIST, SEAL ON<sup>TM</sup> - POMARK – MD a tiež výrobok firmy Alltracel patriaci do skupiny glukuronanov [24, 30, 33].

Okrem zástavy kapilárneho krvácania a krvácania z parenchymatóznych orgánov a resekčných plôch pri chirurgických zákrokoch [30] sa tieto produkty používajú napríklad k urýchľovaniu hojenia holenných vredov [34].

## 2.6 Siet'ovanie polymérov

Po vytvorení nanovlákných vrstiev boli tieto vrstvy rozpustné vo vode. Aby bolo možné s nimi ďalej pracovať, bolo potrebné zaistiť aspoň čiastočnú nerozpustnosť siet'ovaním.

Podstatou siet'ovania je vzájomné spájanie polymérnych reťazcov vedúce ku zväčšovaniu makromolekúl. Má mimoriadny význam, pretože dochádza k podstatným zmenám vlastností napr. zhoršenie rozpustnosti, tavitelnosti, zvýšenie tvarovej stálosti a odolnosti voči chemikáliám. Dôsledkom týchto zmien je obtiažnejšia spracovateľnosť, preto je účelné vytvoriť zosiet'ovanú štruktúru až v hotovom výrobku. Čím hustejšie zosiet'ovanie, tým menší prístup pre nízkomolekulárne látky, tzn. klesá navlhavosť, bobtnavosť a pod.

Vznik zosiet'ovanej štruktúry prebieha rôznymi spôsobmi:

1. polykondenzáciou a polyadíciou troj a viacfunkčných monomérov,
2. kopolymeráciou monomérov, z ktorých aspoň jeden má vyššiu funkčnosť ako dva (okrem konjugovaných diénov),

3. zabudovaním mostíkov medzi lineárne makromolekuly,
4. vzájomnou reakciou makromolekúl s vhodnými funkčnými skupinami.

V technickej praxi sa dodatočným sieťovaním vulkanizujú rôzne kaučuky a vytvrdzujú syntetické živice [35].

Reakcie sieťovania môžu prebiehať medzi polymérnymi reťazcami navzájom, alebo na medzifázovom povrchu častíc, ak sú funkčné skupiny situované na ich povrchu [36].

V článku [37] je uvedené, že k sieťovaniu kyseliny polyakrylovej boli použité sieťujúce činidlá, a to kopolymér kyseliny polyakrylovej alebo maleinovej s obsahom 1 – 10 hm.%. Pri sieťovaní sa vytvárali intervláknenné sieťujúce väzby. Tieto vytvorené štruktúry umožňujú použitie týchto materiálov ako absorbenty, ktorých štruktúra môže vytvárať i hydrogély. V ďalšej štúdii, ktorá sa zaoberala hydrogélmi založenými na chemickom sieťovaní kyseliny polyakrylovej, boli ako sieťujúce činidlá použité macrodiisokyanát (MDIC) a oligomethandiisokynát (DO). Podrobne je táto práca popísaná v článku [38].

## 2.7 Hydrogély

Úlohou tejto práce bolo tiež zisťovať správanie sa vytvorených vlákenných vrstiev vo vodnom prostredí. Pre účely použitia je totiž vhodné, aby vytvorené vrstvy boli schopné odolať vodnému prostrediu, so zachovaním svojej štruktúry, a tak vytvárať vhodné prostredie pre hojenie rán.

Materiály s týmito vlastnosťami sú nazývané hydrogélmi [39].

Hydrogély sú materiály, ktoré sú po umiestnení v prostredí, kde je nadbytok vody, schopné rýchlo bobtnať a udržať veľké objemy vody v ich nabobtnalej štruktúre. Materiály sa nerozpustia vo vode a udržiujú troj – rozmerné siete. Takéto vodné gélové siete sú nazývané hydrogély (tiež nazývané vodné gély). Hydrogély sú obvykle vyrobené z hydrofilných polymérnych molekúl, ktoré sú zosieťované buď chemickou väzbou alebo ďalšími kohéznymi silami ako iontové interakcie alebo vodíková väzba. Hydrogély sú elastické látky v tom zmysle, že ich konfigurácia má pamäť a systém sa po dlhom pôsobení deformácie vráti do pôvodného tvaru.

Polymérna sieť malých častočiek s priermi menšími než  $1\mu\text{m}$  (typicky v rozsahu 100 nm) sa nazýva mikrogély [39].

### 2.7.1 Hydrogély ako biomateriály

Súhrnné štúdie ukazujú, že hydrogély sú vysoko biokompatibilné. Hydrogély, majú niekoľko jedinečných vlastností, ktoré ich robia biokompatibilnými.

Za prvé: hydrogély majú nízke medzi povrchové napätie s okolitými biologickými tekutinami a tkanivami, a minimalizujú hnaciu silu pre adsorpciu bielkovín a súdržnosť buniek. Pre ich veľmi vysoký obsah vody, je povrch hydrogélů nazývaný superhydrofilický rozptýlený povrch. Tento povrch je známy vysokou biokompatibilitou. Toto je pravdepodobne kvôli skutočnosti, že povrch hydrogélů nespôsobuje presné aktívne rozhranie.

Za druhé: hydrogély simulujú niektoré hydrodynamické vlastnosti prirodzených biologických gélov, buniek a tkanív v mnohých spôsoboch. Vysoká pohyblivosť polymérnych reťazcov na povrchu hydrogélů prispieva k zamedzovaniu adsorpcie bielkovín a súdržnosti bunky. Toto je hlavne spôsobené priestorovou odpudivosťou vynaloženou polymérnym reťazcom. Adsorpcia bielkovín a súdržnosť bunky je zamedzovaná nešpecifickou odpudivosťou vyplývajúcou z "entropie" a "miešania" pri interakciách medzi polymérnymi reťazcami a bielkovinami alebo membránami bunky. Tento jav je rovnaký pre správne rozoznanie priestorovej stabilizácie bielkovinových molekúl a koloidných častočiek.

Za tretie: mäkká, kaučukovitá povaha hydrogélů minimalizuje mechanické a trecie podráždenie okolitého tkaniva. Nízke trecie povrchy nespôsobujú bolesť a poškodenie sliznice alebo naznačenie krvných ciest, a tak sa netvoria infekcie a trombusy [39].

Hlavná nevýhoda použitia hydrogélů je, že majú zlú mechanickú pevnosť a tuhosť po nabobtnaní. Táto nevýhoda môže byť prekonaná rúbovaním hydrogélů s dobrými mechanickými vlastnosťami na biomateriál. Rúbovanie hydrogélů na povrch biomateriálu mení len vlastnosti povrchu zatiaľ čo objemové vlastnosti zostávajú nezmenené. Hydrogély môžu byť rúbované na biomateriály fyzikálnou adsorpciou, fyzikálnym zachytením, pripojením väzby a polymeráciou.

Hlavný odbyt pre biomateriály je v oblasti kardiovaskulárnych implantátov, ortopedických implantátov, intravaskulárnych a cievnych, močových ciest, nahradenie mäkkého tkaniva, intraokulárne šošovky, obvazy na rany, biosenzory a zariadenia s riadeným uvoľňovaním. Tieto všetky biomateriály zlepšujú ich biokompatibilitu prostredníctvom povrchovej úpravy hydrogélom [39].

### **2.7.2 Biodegradabilné hydrogély**

Biodegradabilné polymérne systémy boli často používané vo vývoji rozvinutých systémov pre cielečné doručovanie liečiv. Od tej doby čo je známe, že forma dávkovania je odbúrateľná a vylúčiteľná z tela, je žiaduce použitie biodegradabilných polymérnych systémov pre doručenie liečiva s riadeným (cielečným) uvoľňovaním. Týmto sa dá vyhnúť vyberaniu zariadenia z tela chirurgicky alebo ďalšími spôsobmi, keď už neskôr nie je potrebné. Biodegradabilné polymérne systémy tiež poskytujú flexibilitu v designu doručovacích systémov liekov pre veľké molekulové hmotnosti, ako peptidy a bielkoviny, ktoré nie sú vhodné pre difúzne - kontrolované uvoľňovanie prostredníctvom nedegradabilných polymérnych matric. Účinok biodegradabilných polymérnych systémov sa v posledných rokoch významne menil. Pomer uvoľňovania liečiva bol hlavne riadený difúziou skrz polymérne matrice, degradácia polyméru nebola považovaná za dobre ohraničenú a nijak nutnú premenu. V súčasnej dobe je degradácia polyméru považovaná za vysoko žiadanú a je často používaná ku kontrole pomeru uvoľňovania liečiva.

Väčšina výskumov na biodegradabilné systémy s uvoľňovaním liečiva používala vo vode nerozpustné polyméry ako polyglykolovú kyselinu alebo polymliečnu kyselinu. Biodegradabilným systémom hydrogélom sa venovali rôzne štúdie. Kvôli jedinečným vlastnostiam hydrogélom sa očakáva, že biodegradabilné hydrogély nájdu široké použitie v zlepšení existujúceho spôsobu dávkovania a vo vývoji nového a lepšieho systému doručenia liečiv [39].

### 3 Experimentálna časť

V prvej časti experimentu bolo úlohou zistiť možnosti zvlákňovania a sieťovania kyseliny polyakrylovej (PAA) s rôznymi aditívami. Druhá časť experimentu bola venovaná možnosti začlenenia liečiv - MDOC do takto vyrábaných nanovláken. Keďže výsledné produkty sú určené pre použitie v medicíne, bolo snahou vytvárať roztoky bez pridávania ďalších činidiel, ktoré by mali vplyv na zloženie a vlastnosti výsledných nanovláken. Ďalej bolo cieľom sledovať vplyv koncentrácie aditív spolu s MDOC na výkon elektrostatického zvlákňovania. Sledovali sa aj geometrické charakteristiky vrstiev z takto vyrobených nanovláken.

Časť experimentu sa venovala vplyvu starnutia zvlákňovaných roztokov na výsledné vlastnosti nanovlákennej vrstvy.

#### 3.1 Priebeh experimentu

Pri vytváraní roztokov a následnej výrobe nanovlákennej vrstvy sa postupovalo nasledovne:

Experiment 1 - príprava roztokov z kyseliny polyakrylovej s rôznymi sieťovadlami:

- Polyvinylalkohol, bolo vytvorených deväť skúšobných roztokov P1 až P9 pre zistenie zvlákniteľnosti. Zloženie roztokov je uvedené v *Tab. 1* spolu s hodnotami obsahu sušiny PAA. Pokračovalo sa s piatimi koncentraciami 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 (P2 – P6) - PAA:PVA.
  - Polyethylénoxid, päť roztokov – obsah PEO 5, 10, 15, 20, 25 hm.%.
  - Glycerín, päť roztokov- obsah glycerínu 5,10, 15, 20, 25 hm.%.
- (Zloženie roztokov s obsahom PEO a Gly viz. príloha 2, Tab. 2)

Experiment 2 - príprava roztokov ako v Experimente 1, s tým, že boli vynechané skúšobné roztoky u PVA. A následné začlenenie 16 hmot. % MDOC (ďalej len 16% MDOC) do týchto roztokov.

- Meranie dynamickej viskozity vytvorených roztokov v čase  $t_0$ ,  $t_{30}$ ,  $t_{60}$ .
- Elektrostatické zvlákňovanie metódou Nanospider.

- Zisťovanie plošnej hmotnosti nanovláknenných vrstiev a určenie výkonu stroja Nanospider.
- Tepelné siet'ovanie v laboratórnej teplovzdušnej sušiarňi po rôznu dobu a teplotu.
- Testovanie rozpustnosti zosiet'ovaných nanovláknenných vrstiev v studenej destilovanej vode po dobu 2, 5 a 10 minút a sledovanie zmeny štruktúry vrstiev po kontakte s vodou.
- Tvorba snímok nanovláknenných vrstiev na rastrovacom elektrónovom mikroskope VEGA TS 5130.
- Spracovanie snímok nanovláknenných vrstiev pomocou obrazovaej analýzy LUCIA G – meranie priemeru vlákien.

*Tab. 1 Hodnoty sušín kyseliny polyakrylovej a polyvinylalkoholu vo výsledných skúšobných roztokoch v rôznych pomeroch.*

| Vzorka                        |     | P1      | P2    | P3    | P4    | P5    | P6    | P7    | P8    | P9    |
|-------------------------------|-----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Zloženie roztoku/10 [g]       |     | PAA:PVA |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                               |     | 9:1     | 8:2   | 7:3   | 6:4   | 5:5   | 4:6   | 3:7   | 2:8   | 1:9   |
| Obsah sušiny v roztoku [%]    | PAA | 95,16   | 89,75 | 83,62 | 76,64 | 68,63 | 59,32 | 48,39 | 38,46 | 19,55 |
|                               | PVA | 4,84    | 10,25 | 16,38 | 23,36 | 31,37 | 40,68 | 51,61 | 61,54 | 80,45 |
| Hmotnostné pomery sušín v [g] | PAA | 3,15    | 2,8   | 2,45  | 2,1   | 1,75  | 1,4   | 1,05  | 0,8   | 0,35  |
|                               | PVA | 0,16    | 0,32  | 0,48  | 0,64  | 0,8   | 0,96  | 1,12  | 1,28  | 1,44  |

## 3.2 Použité polyméry a siet'ovadlá

### 3.2.1 Polyvinylalkohol (PVA)

Polyvinylalkohol  $[-CH_2-CH(OH)-]_n$  je biela práškovitá hmota kryštalického charakteru. Monomerný vinylalkohol nie je stabilná zlúčenina, preto sa polyvinylalkohol získava zmydelnením alebo reesterifikáciou polyvinylacetátu. Ako polyvinylalkohol sa označujú produkty, ktoré obsahujú toľko voľných hydroxylových skupín, že sú rozpustné i v studenej vode. Hlavnými veličinami ovplyvňujúcimi jeho fyzikálne vlastnosti sú polymeračný stupeň a stupeň hydrolýzy, resp. reesterifikácie. Jeho rozpustnosť závisí na polymeračnom stupni, tzn. čím vyšší je polymeračný stupeň,



tým horšie sa polyvinylalkohol rozpúšťa. Ďalej je ovplyvnená stupňom hydrolýzy, resp. reesterifikácie. PVA má prevažne štruktúru 1, 3-glykolu, ale 1 až 2 mol. % PVA majú štruktúru 1, 2-glykolu. Je použiteľný v rozsahu teplôt - 50 až 130°C. Je málo termoplastický a nad teplotou 220°C sa rozkladá. Odoláva organickým kyselinám, neodoláva však vodným roztokom anorganických kyselín a alkalických hydroxidov. Je možné ho previesť v produkty viac viskózne až nerozpustné vo vode, a to zahriatím na teplotu 160°C a vyššie, pôsobením nepatrných množstiev bórxu, kyseliny bóritej a jej solí, kyseliny fosforečnej, dichromanov, diisokyanátov a pod [40].

PVA sa používa hlavne ako ochranný koloid zaisťujúci stabilitu polymérnych disperzií. Ďalej sa používa ako zahusťovadlo pri výrobe tušu, atramentu a razítkových farieb, k príprave lepidiel, pre impregnáciu papiera proti tukom a rozpúšťadlám, ako separačný prostriedok pri spracovaní nenasýtených polyesterových živíc, v textilnom priemysle, v špeciálnych prípadoch ako náter odolávajúci benzínu a olejom a pre výrobu ochranných prostriedkov. Z PVA sa tiež pripravujú fólie rozpustné vo vode a odolávajúce rozpúšťadlám. Používajú sa pre rôzne špeciálne účely, napr. ako obaloviny, ktoré sa súčasne s obsahom rozpúšťajú vo vode [40].

V zdravotníctve nachádza polyvinylalkohol uplatnenie pri výrobe liečiv vo farmaceutickom priemysle [41]. Používa sa pri liečbe tzv. „suchého oka“ k výrobe umelých slz v kombinácii s hydroxypropylcelulózou [42]. Podľa článku [43] možno očakávať, že sa nanovláknenné vrstvy vytvorené z polyvinylalkoholu dajú použiť ku krytiu rán, s tým, že nebude dochádzať k nežiaducemu množeniu baktérií.

V tomto experimente bol použitý 16 hmot.% PVA s obchodným názvom **Sloviol® R**, od Nováckych chemických závodov, a.s. Podľa [44] sa molekulová hmotnosť Sloviolu R pohybuje v rozmedzí 60 000 – 100 000 g/mol.

### 3.2.2 Polyethylénoxid

Polyethylénoxid  $[-CH_2-CH(O)-]_n$  je látka, ktorá vzniká polymeráciou ethylenoxidu. Ethylenoxid  $C_2H_4O$ , cyklický ether, je bezfarebná kvapalina. Teplota varu je 10,7°C, je veľmi reaktívny, a preto je to základná látka pre syntézu alifatických zlúčenín. Používa sa ako filmotvorná látka, zahusťovadlo, obalový prostriedok s emulgátormi (polyethylenglykoly) [45]. Ďalšou oblasťou použitia je farmaceutický

priemysel. Vo forme blokových kopolymérov polyetylenoxid- b- polyamino kyseliny sa používa k príprave tkanivových náhrad [46].

V experimente bol použitý polyetylénoxid o M.H. 1000 g/mol od firmy CHEMAPOL.

### 3.2.3 Glycerín

Glycerín, resp. glycerol  $C_3H_8O_3$  je bezfarebná viskózna kvapalina, sladkej chuti, ktorá je rozpustná vo vode. Svojou chemickou povahou predstavuje najjednoduchší trojsýtny alkohol  $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$ . Je rozpustný vo vode a alkohole. Teplota topenia je  $17,9^{\circ}C$ , teplota varu je  $290^{\circ}C$ . Ako zlúčenina s rôznymi organickými kyselinami, hlavne s palmitovou, steárovou a olejovou, tvorí podstatnú súčasť mastných tukov a olejov. Vo veľkom sa pripravuje v mydlárňach a sviečkarňach hydrolýzou tukov. Najnovšia metóda je založená na enzymatickom štiepení fermentov z ricínových semien. Vyrába sa tiež pri výrobe kyseliny steárovej rozkladom pevných tukov vodou za vyššieho tlaku, a za prítomnosti malého množstva vápna. Glycerín je tiež možno získať pomocou kyslého štiepenia pomocou kyseliny sírovej alebo syntetickou výrobou napríklad z propénu alebo propylénu [47].

Glycerín má mnohostranné použitie napríklad pre výrobu farmaceutík. V stomatológii sa používa ako prísada v prípravkoch na bielenie zubov [48]. V medicíne sa používa pre zmrazovanie tkanivových a bunečných implantátov, červených krviniek a spermií [49, 50, 51]. Ďalej sa používa na výrobu kozmetických preparátov a prísad do vlasovej kozmetiky, k udržiavaniu vlhkosti krémov, zubných pást, razítkových farieb, lepidiel, v textilnom a potravinárskom priemysle, pre výrobu nitroglycerínu a plastov, farieb, syntetických hmôt (napr. celofán, alkydové živice), tukov a transparentných mydiel, ďalej ako zmäkčovadlo, prostriedok proti zamrznutiu a pod.

V experimente bol použitý bezvodý glycerín o M.H. 92,10 g/mol od firmy ONEX.

### 3.2.4 m•doc™ (Micro - Dispersed Oxidised Cellulose)

Pre experiment bol použitý MDOC vo forme jemného krémovo bieleho prášku, z ktorého bol namiešaný 16% - ný vodný roztok. MDOC je produktom patentovanej technológie firmy Alltracel Pharmaceuticals Plc [29].

## 3.3 Použité metódy, prístroje, programy a zariadenia

Vytvorené nanovláknenné vrstvy boli zhotovené na prístroji Nanospider, ktorého princíp je popísaný v kapitole 1.1.1.

### 3.3.1 Guličkový viskozimeter HAAKE

Viskozita roztokov bola meraná pomocou guličkového viskozimetru HAAKE Falling Ball Viscometer C. Viskozimeter meria viskozitu priehľadných newtonských kvapalín pomocou metódy padajúcej guľičky. Táto viskozita je úmerná času, za ktorý padajúca guľička prejde určitú vzdialenosť. Výsledkom skúšky je dynamická viskozita v jednotkách mPa.s [52].

Podľa Stokesovho zákona pre rýchlosť pádu platí rovnica

$$v = F / 6\pi \cdot \eta \cdot r \quad F = 3/4\pi \cdot r^3 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g, \quad (11)$$

kde  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  sú hustoty guľičky a kvapaliny,  $r$  – polomer guľičky [10].

Pre stanovenie viskozity sa používa vzťah

$$\eta = 2g \cdot r^2 (\rho_1 - \rho_2) / 9v \quad (12)$$

Po úprave vzťahu (12) dostaneme vzorec pre výpočet viskozity

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t, \quad (13)$$

kde  $K$  je konštanta pre jednotlivé guľičky, ktorých hodnoty sú uvedené v prílohe 1.

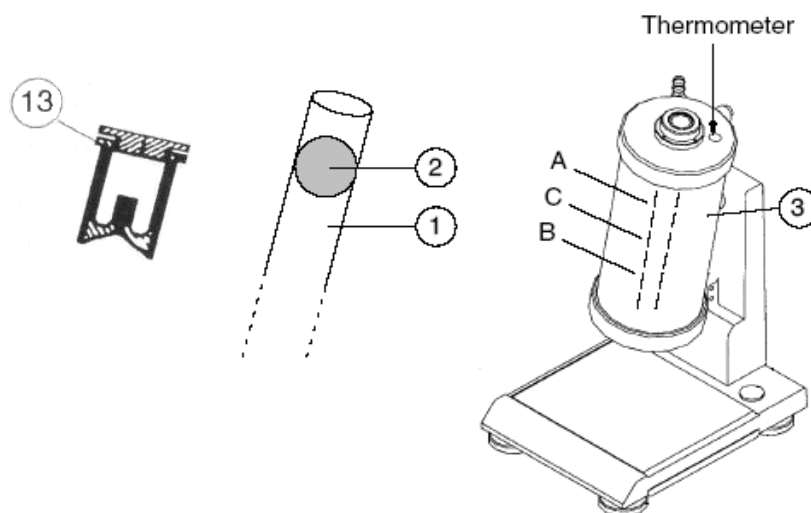
#### Popis prístroja

Vnútro prístroja (*Obr. 10*) je tvorené meracou sklenenou trubicou 1 a guľičkou 2. Na trubici sú znázornené tri kruhové rysky, z ktorých sú A a B od seba vzdialené 100 mm a C je uprostred nich. Meracia trubica je opatrená vonkajšou sklenenou trubicou, ktorej priestor 3 je naplnený kvapalinou s riadenou teplotou. Meracia trubica je

upevnená k stojanu takým spôsobom, že je jej os v priebehu merania naklonená 10 stupňov vzhľadom k vertikálnej osi. Meracia trubica je uzatvorená na oboch stranách dvoma zátkami, z ktorých jedna obsahuje kapiláru a malú nádržku. Táto zátka zabráňuje nežiaducim zmenám tlaku v kvapaline a zaisťuje priechod pre vzduchové bubliny.

Všetky časti viskozimetru, ktoré sú v priamom kontakte so vzorkou musia byť čisté a suché. Meraná vzorka sa vleje do meracej trubice 1 až 20 mm pod hranu trubice. Potom sa do trubice umiestni vhodná guľička a uzatvorí sa pomocou dutej zátky 13. Vzorka v trubici musí byť bez vzduchových bublín.

Doba presunu guľičky od hornej rysky A k dolnej ryske B sa meria pomocou stopiek. Meranie je väčšinou opakované trikrát [52].



Obr.10 Guľičkový viskozimeter HAAKE [52].

### 3.3.2 Rotačný viskozimeter VISCO BASIC Plus

Pre porovnanie meraní z guľičkového viskozimetru HAAKE bola viskozita základného polyméru – kyseliny polyakrylovej zmeraná i na rotačnom viskozimetre.

Rotačný viskozimeter sa používa pre stanovenie dynamickej viskozity. Dynamická viskozita je stanovená z veľkosti točivého momentu, ktorý je meraný v ustálenom režime otáčania vhodného hriadeľa vo vzorku [53].

Popis prístroja

Ponorný rotačný viskozimeter VISCO BASIC Plus (*Obr. 11*) patrí medzi prístroje typu "Brookfield", ktorý meria brzdiaci účinok kvapaliny na disk rotujúci v skúmanej kvapaline. Rýchlosť otáčania je nastaviteľná v stupňoch od  $0.3$  do  $100 \text{ min}^{-1}$ . Prístroj má podsvietený displej, na ktorom sa súbežne zobrazujú číslo rotujúceho disku, percentuálna hodnota zaťaženia snímača, aktuálne otáčky a nameraná viskozita v cP (mPa.s). K dispozícii je funkcia AUTO-RANGE pre automatické prepínanie rozsahov a funkcia alarmu, upozorňujúca obsluhu, keď zaťaženie snímača klesne pod minimálnu hodnotu potrebnú pre presné meranie. Viskozimeter sa vyrába v troch variantoch L, R a H, líšiacich sa rozsahom meraných hodnôt viskozity. Prístroj obsahuje štyri, resp. šesť kusov štandardných diskov, nastaviteľný statív a ochranný rámček [53].



*Obr. 11 Rotačný viskozimeter VISCO BASIC Plus [53].*

### 3.3.3 Rastrovací elektrónový mikroskop VEGA TS 5130

Nanovláknenné vrstvy boli snímané rastrovacím elektrónovým mikroskopom VEGA TS 5130. Mikroskop je kompletne riadený počítačom. Pracuje s rozlíšením  $3,5 \text{ nm}$  a zväčšením 20 až 500 000. Je určený k pozorovaniu povrchov pri veľkom zväčšení s veľkou hĺbkou ostrosti, k zaznamenávaniu a archivovaniu zväčšených obrazov v štandardnom obrazovom formáte na počítačové záznamové média.

Skúmaný preparát musí byť vopred upravený naprášením tenkej vrstvy zlata o hrúbke  $10\text{--}30 \text{ nm}$  v prístroji SCD 030.

Mikroskop tvoria štyri základné časti: fyzikálna časť, elektronika, počítač a software.

Vo fyzikálnej časti mikroskopu vzniká obraz povrchu vzorky a ďalšie užitočné signály. Tu vzniká fokusovaný elektrónový zväzok, ktorý je formovaný a vychýľovaný a dopadá na povrch skúmanej vzorky. Vzorka je umiestnená v komore mikroskopu, kde môže byť menená jeho poloha pomocou manipulátoru.

Elektronika mikroskopu zaisťuje napájanie a ovládanie fyzikálnej časti mikroskopu a zosilňovanie a predávanie užitočných signálov počítaču.

Riadenie mikroskopu a spracovanie získaných výsledkov sa robí pomocou štandardného osobného počítača. Software slúži k ovládaniu všetkých funkcií mikroskopu, k riadeniu akvizície obrazu, k jeho spracovaniu a vyhodnocovaniu [54].

### **3.3.4 Obrazový analyzátor LUCIA G**

Obrázky nanovlákných vrstiev zhotovené pomocou rastrovacieho elektrónového mikroskopu VEGA TS 5130 boli následne vyhodnocované pomocou obrazového analyzátoru LUCIA G. Pomocou tohto softwaru boli merané priemery vytvorených nanovláken. LUCIA<sup>TM</sup> G (Laboratory Universal Computer Image Analysis) je softwarový systém obrazovej analýzy určený k pozorovaniu, snímaniu, archivácii a ručnému alebo automatizovanému meraniu preparátov. Systém je väčšinou tvorený optickým prístrojom (mikroskop), snímacím zariadením (kamera), počítačom a softwarovým vybavením. Software LUCIA G dokáže spracovať a analyzovať digitálne obrazy s rozlíšením 752 x 524 pixlov a hĺbkou 24 bitov, tzn. 3 x 8 bitov pre zložky RGB [55]. Farebné obrazy sa skladajú z troch zložiek RGB, ktoré predstavujú intenzitu červenej, zelenej a modrej zložky. Pre každú zložku sú hodnoty jednotlivých bodov obrazu pre systém LUCIA G v intervale od 0 do 255 pixlov. Spracovaním obrazu môžeme získať farebné a morfológické informácie o skúmaných objektoch alebo vhodne opracovaný obraz použiteľný pre dokumentáciu. LUCIA G používa pre uchovanie obrazovej informácie svoj vlastný formát LIM, alebo umožňuje uloženie v bežných obrazových formátoch ako napr. JPG, BMP, TIF a ďalších [56].

### 3.4 Výpočty použité pri meraní

#### 3.4.1 Plošná hmotnosť

K zisťovaniu plošnej hmotnosti u netkaných textílií slúži norma ČSN EN 29073 – 1. Metóda spočíva v meraní plochy a hmotnosti skúšobnej vzorky a vo výpočte jeho plošnej hmotnosti v jednotkách  $\text{g/m}^2$  podľa vzťahu:

$$m_{PL} = \frac{m}{S}, \quad (14)$$

kde  $m$  [g] je hmotnosť skúšobnej vzorky a  $S$  [ $\text{m}^2$ ] je plocha vzorky.

Skúšobná vzorka by mala mať veľkosť  $50000 \text{ mm}^2$ . Ak nie je k príprave skúšobných vzoriek o špecifikovanej veľkosti dostatok materiálu, vyreže sa čo možno najväčšia pravouhlá vzorka. Ak je vyžadované stanovenie variačného koeficientu, je nutné použiť minimálne päť skúšobných vzoriek [57].

#### 3.4.2 Výkon zariadenia Nanospider

Výkon zvlákňovacieho zariadenia udáva hmotnosť vyrobeného materiálu za jednotku času. Ak pri počítaní výkonu tohto zariadenia použijeme vo výpočte i šírku valčeka (0,2 m), ktorá bola použitá pri zvlákňovaní, použijeme vzťah:

$$\text{šírka valčeka}[m] \cdot \text{plošná hmotnosť}[\text{g/m}^2] \cdot \text{rýchlosť odťahu}[m/\text{min}] = \text{výkon}[\text{g/min}] \quad (15)$$

Obvykle sa však výkon zariadenia prepočítava na bežný meter. Potom sa uvádza v jednotkách  $\text{g/min.m}$ .

### 3.5 EXPERIMENT 1

#### 3.5.1 Príprava polymérnych roztokov

V celom experimente bola základnou zložkou kyselina polyakrylová, konkrétne 35 hm. % Sokolan PA 110 S s M.H. 250 000 g/mol. Roztoky boli tvorené s objemom 50 ml, ku ktorému bolo pridaných 10 ml destilovanej vody, kvôli vysokej viskozite, ktorú mali roztoky po premiešaní. Toto množstvo destilovanej vody bolo pridávané ku všetkým roztokom.

Ako prvé sieťovadlo bol použitý roztok 16 hm. % polyvinylalkohol (PVA). Bolo vytvorených deväť skúšobných roztokov o rôznych koncentráciách PAA v zmesi s PVA (viz. *Tab. 1*). K vytvoreným roztokom bolo pridávané rovnaké množstvo destilovanej vody, pretože boli veľmi viskózne. V závislosti na obsahu vody bola sledovaná zmena priemeru vytvorených nanovláken. Výsledky týchto meraní sú uvedené v prílohe 2 *Obr.1*. Sú v ňom uvedené grafy, ktoré ukazujú jednak závislosť obsahu PAA v zmesi s PVA, ale i zmeny v závislosti na množstve pridávanej destilovanej vody. V *Tab.1* - príloha 2, sú uvedené hodnoty týchto roztokov. V experimente sa ďalej pokračovalo s roztokmi o koncentráciách 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 PAA v zmesi s PVA.

Ďalším sieťovadlom bol polyethylénoxid. Roztoky boli tvorené o piatich koncentráciách s obsahom 5, 10, 15, 20 a 25 hm.% PEO v zmesi s PAA.

Ako tretie sieťujúce činidlo bol použitý bezvodý glycerín (ďalej len Gly). Bolo vytvorených päť roztokov o koncentráciách 5, 10, 15, 20 a 25 hm.% Gly v zmesi s PAA.

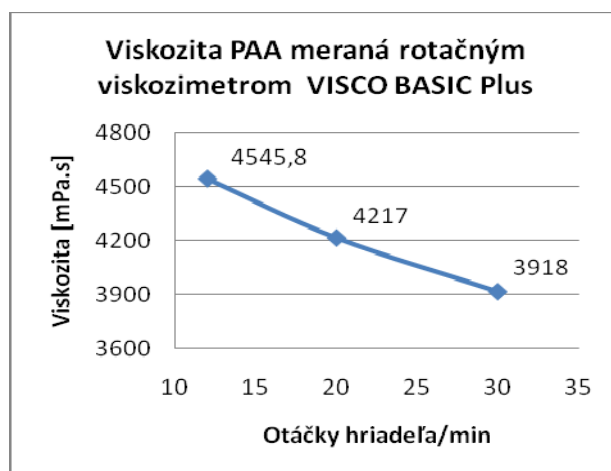
#### 3.5.2 Parametre roztokov

##### 3.5.2.1 Dynamická viskozita

Dynamická viskozita bola meraná u všetkých zvlákňovaných roztokov. Viskozita bola zmeraná i u samotnej kyseliny polyakrylovej, aby bolo vidieť ako jednotlivé činidlá ovplyvňujú hodnoty polyméru. K meraniu bol použitý guľičkový viskozimeter HAAKE, ktorý je popísaný v kapitole 2.3.1. Pre overenie meraní bola



viskozita kyseliny polyakrylovej zmeraná aj na rotačnom viskozimetre VISCO BASIC Plus (viz. kapitola 2.3.2.). Hodnota viskozity zmeraná na guľičkovom viskozimetre bola 4468,8 mPa.s. Podstata merania spočíva v meraní času, za ktorý prejde guľička o definovanej hustote určitú vzdialenosť, v meranom roztoku. Podľa výsledkov nameraných na rotačnom viskozimetre, ktoré sú uvedené na *Obr. 12* sa dá povedať, že tieto merania sú zrovnateľné. Viskozita zmeraná na tomto viskozimetre spočíva v meraní veľkosti točivého momentu vhodného hriadeľa v roztoku. Meranie sa robí v ustálenom režime.



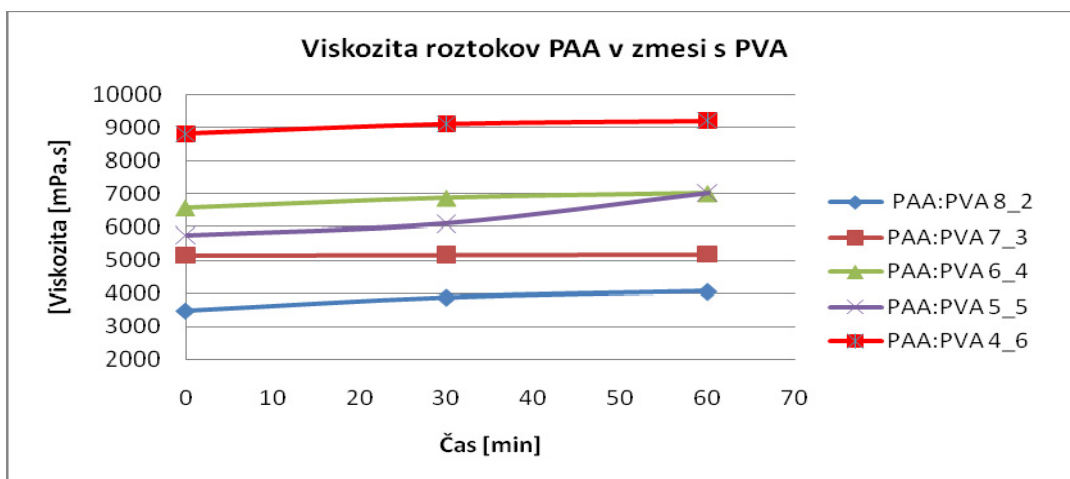
*Obr. 12 Viskozita PAA meraná pomocou rotačného viskozimetru VISCO BASIC Plus s vyznačením nameraných hodnôt.*

Na *Obr. 13, 14, 15* sú uvedené grafy, ktoré znázorňujú zmenu viskozity roztokov v závislosti na čase.

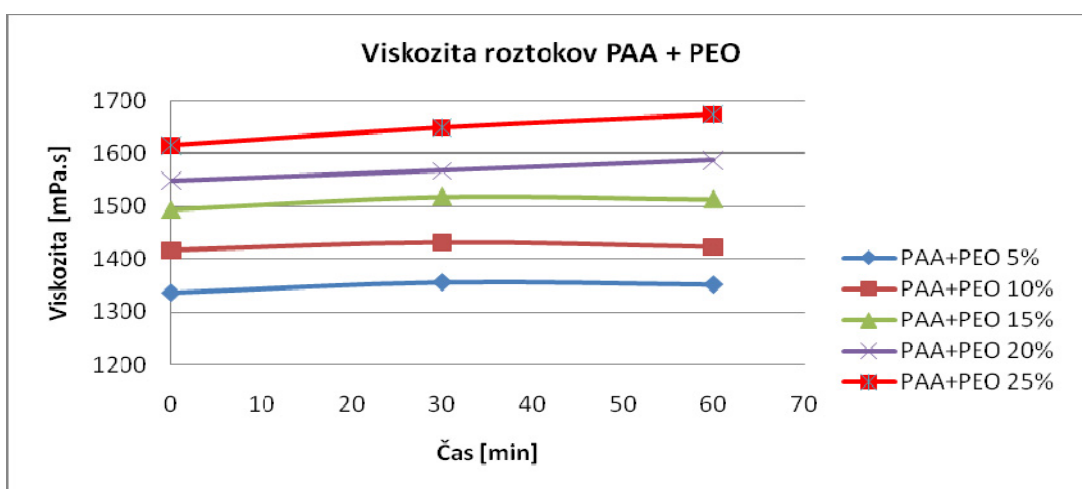
Z *Obr. 13* možno sledovať, že viskozita roztokov rastie spolu so zvyšujúcim sa obsahom PVA v zmesi s PAA. Odchýlka však nastala u koncentracii 5:5 a 6:4, kde viskozita roztoku 5:5 mala nižšiu hodnotu ako roztok 6:4. V závislosti na čase možno tiež sledovať mierny nárast viskozity.

Na *Obr. 14* je vidieť, že viskozita roztokov rástla so zvyšujúcim sa obsahom PEO v zmesi s PAA. Je viditeľný i mierny nárast viskozity v čase.

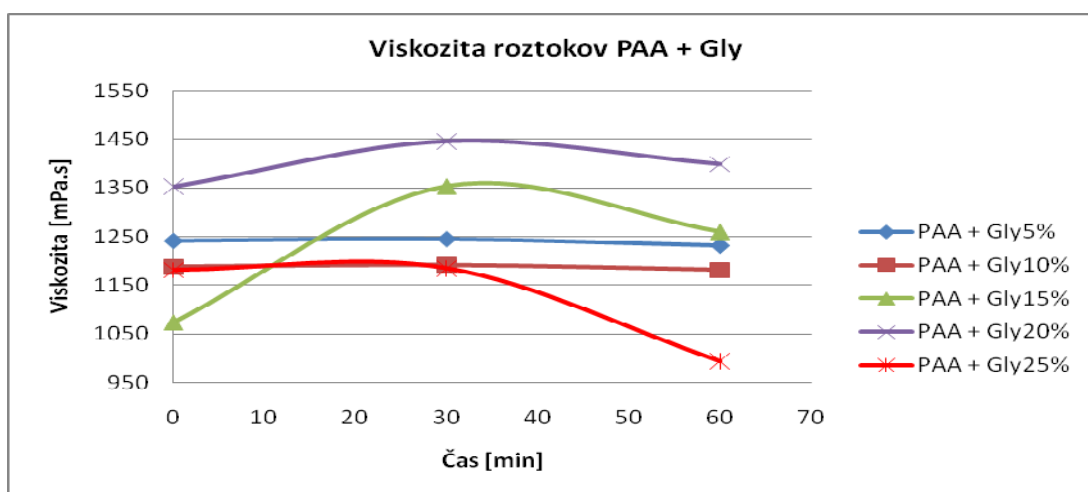
Z grafu na *Obr. 15* je vidno, že viskozita roztokov so zvyšujúcim sa obsahom Gly v zmesi s PAA spočiatku klesala. Zmena nastala pri roztoku s obsahom 20 hm.% Gly kedy došlo k nárastu viskozity. U roztokov s obsahom 15 a 20 hm.% Gly došlo k výraznejšiemu nárastu viskozity v čase  $t_{30}$  a následnému poklesu v čase  $t_{60}$ . Ďalej možno v grafe sledovať celkový pokles viskozity v čase  $t_{60}$ .



Obr. 13 Viskozita roztoků PAA v zmesi s PVA v závislosti na čase.



Obr. 14 Viskozita roztoků PAA v zmesi s PEO v závislosti na čase.



Obr. 15 Viskozita roztoků PAA v zmesi s Gly v závislosti na čase.

### 3.5.3 Zvlákňovanie polymérnych roztokov

Vytvorené roztoky boli zvlákňované na laboratórnom zariadení Nanospider popísanom v kapitole 1.1.1. Pred každým zvlákňovaním boli zmerané klimatické podmienky - teplota, vlhkosť.

#### Parametre zvlákňovania:

- vzdialenosť valčeka od vlákenej vrstvy – 195 mm,
- dĺžka valčeka – 200 mm,
- priemer valčeka – 20 mm,
- rýchlosť otáčania valčeka – 6 ot/min,
- napätie – 50 kV,
- rýchlosť odtáhu – 8,55 m/min.

Tieto parametre boli pri všetkých meraniach rovnaké. U niektorých roztokov však bolo potrebné tieto podmienky v priebehu zvlákňovania upraviť. Tieto zmeny budú popísané nižšie pri konkrétnych prípadoch.

Vytvorené nanovlákná boli ukladané na podkladovú netkanú textíliu spun -bond. Spun – bond od firmy Pegas a.s. má plošnú hmotnosť 18 g/m<sup>2</sup>. Je vyrobený z polypropylénu a má vodivú povrchovú úpravu.

#### *Zvlákňovanie PAA v zmesi s PVA*

Samotné zvlákňovanie kyseliny polyakrylovej v zmesi s polyvinylalkoholom prebiehalo bez problémov. U vzorky s obsahom 4:6 sa podmienky zvlákňovania museli upraviť z dôvodu vysokého výkonu pri zvlákňovaní, ktorý spôsoboval tvorbu fólie namiesto nanovláken. Zvýšením vzdialenosti valčeka, a teda oddialenia elektród, došlo k poklesu výkonu. U vzoriek 5:5 a 6:4 bol taktiež znížený výkon zvýšením vzdialenosti elektród.

#### *Zvlákňovanie PAA v zmesi s PEO*

Pri zvlákňovaní roztokov PAA v zmesi s PEO sa podmienky zvlákňovania menili výraznejšie. Roztok s obsahom 25 hm.% PEO, nešiel zvlákňovať za bežných podmienok, preto sa použilo ohrievanie teplým vzduchom (30°C). Aj napriek tomu sa však tvorili vrstvy s nízkou plošnou hmotnosťou. Bol použitý ohrev vlhkým i suchým

vzduchom, ale zmeny neboli výrazné. U vzorky s obsahom 20 hm.% PEO šlo zvlákňovanie pri zmenených podmienkach výrazne lepšie, oproti predchádzajúcemu roztoku. Roztok s obsahom 15 hm.% PEO bol zvlákňovaný za bežných podmienok, pretože pri použití ohrevu nedochádzalo k zvlákňovaniu. Obdobne sa postupovalo aj pri roztokoch s obsahom 5 a 10 hm.% PEO.

U vytvorených vlákenných vrstiev dochádzalo k miernym kontrakciám. Šlo o nízke hodnoty radovo v desatinách percent z pôvodného rozmeru. Výraznejšie kontrakcie boli u vzorky s obsahom 20 hm.% PEO, a to až desiatky percent z pôvodného rozmeru. Hodnoty týchto kontrakcií sú uvedené v prílohe 6.

Po zvláknení vzoriek s obsahom 5 a 10 hm.% PEO bolo možno sledovať na vytvorených vlákenných vrstvách určitú „chlpatosť“ vrstiev.

#### *Zvlákňovanie PAA v zmesi s Gly*

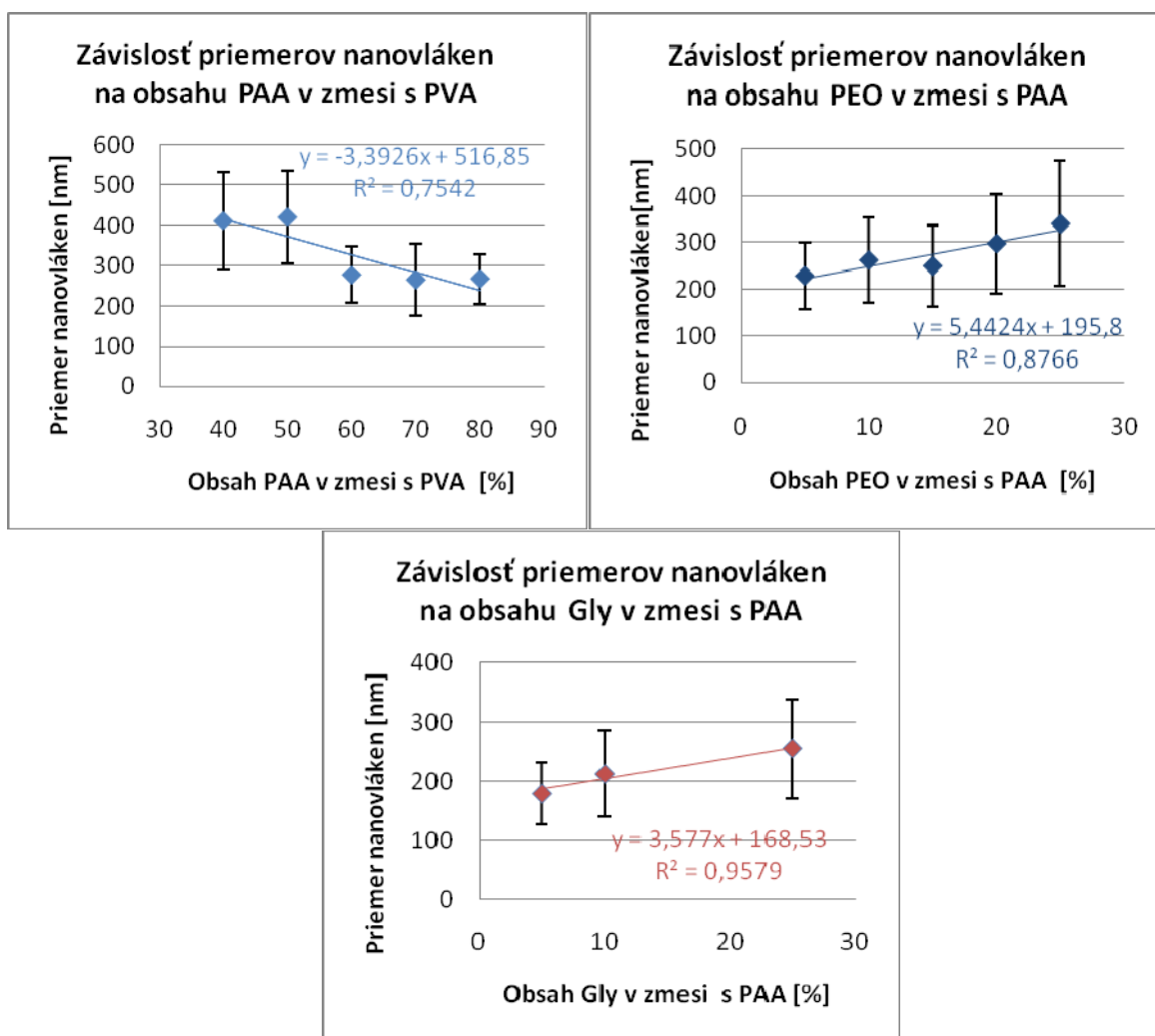
Zvlákňovanie roztokov PAA v zmesi s Gly prebiehalo za bežných podmienok. U vytvorených vrstiev dochádzalo k miernym kontrakciám, radovo v desatinách percent (viz. príloha 6). Veľmi výrazné zmeny rozmerov, až v desiatkach percent, boli u vzoriek s obsahom 15 a 20 hm.% Gly. Keďže sa s týmito vrstvami nedalo ďalej pracovať, pokračovalo sa v experimente len so vzorkami s obsahom 5, 10 a 25 hm.% Gly. Na Obr. 16 je znázornená nanovlákná vrstva bez kontrakcie vytvorená z PAA v zmesi s PVA v pomere 8:2, pod ňou je vrstva s výrazným zrazením vytvorená z PAA v zmesi s 15 hm.% Gly.



*Obr. 16 V hornej časti obrázku je nanovlákná vrstva bez kontrakcie vytvorená z PAA v zmesi s PVA v pomere 8:2, pod ňou je vrstva s výrazným zrazením vytvorená z PAA v zmesi s 15 hm.% Gly.*

### 3.5.4 Priemer nanovláken

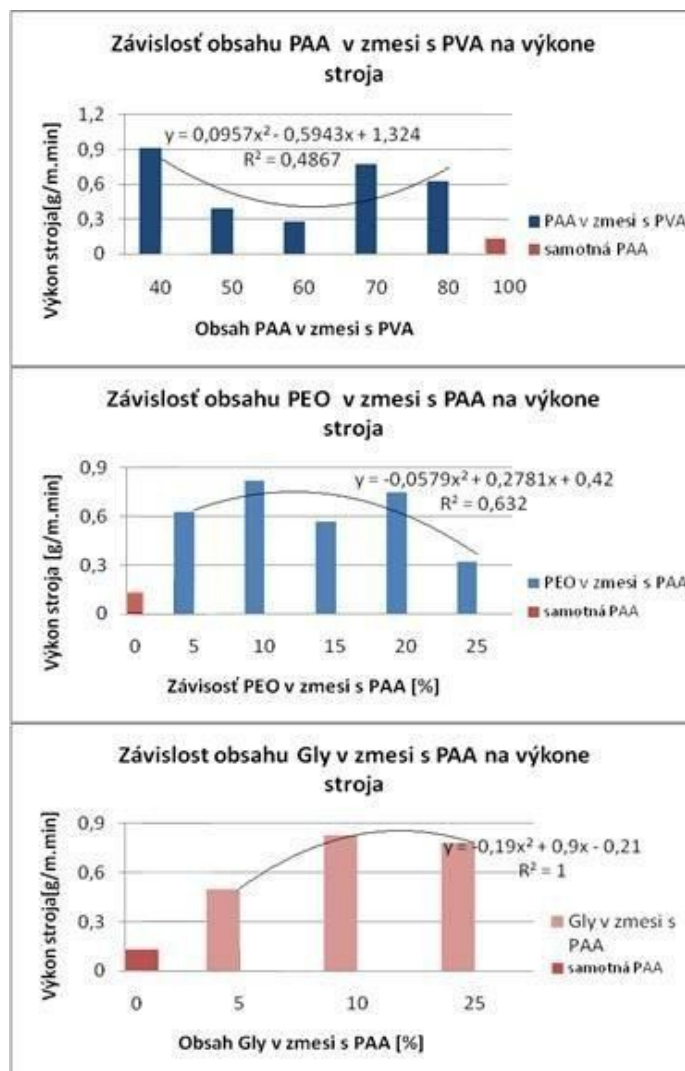
Priemery nanovláken sa merali pomocou obrazovej analýzy LUCIA G na obrázkoch zväčšených 5000 krát. Optimálny počet premeraných vlákien bol 100, avšak u niektorých snímok nebolo možné namerať toto množstvo, preto sa počet dát líši. Namerané hodnoty a štatistické údaje z týchto dát sú uvedené v prílohe 3. Na Obr. 17 je znázornené grafické vyhodnotenie týchto meraní.



Obr. 17 Závislosti priemerov nanovláken na obsahu roztokov –PAA v zmesi s PVA, POE v zmesi s PAA a Gly v zmesi s PAA.

### 3.5.5 Výkon zariadenia Nanospider

Pre zistenie výkonu prístroja Nanospider bolo potrebné vypočítať plošnú hmotnosť vytvorených nanovláknenných vrstiev. Hmotnosť vrstiev bola zisťovaná zo vzoriek o veľkosti 10 000 mm<sup>2</sup>. Výpočet sa robil podľa postupu uvedenom v kapitole 3.4.1. Z takto získaných hodnôt sa ďalej počítal výkon zariadenia Nanospider, a to podľa vzťahu (15), ktorý je uvedený v kapitole 2.4.2. Hodnoty plošných hmotností nanovrstiev a výkonu prístroja sú uvedené v prílohe 4 Tab. 1. Na nasledujúcom Obr. 18 sú uvedené závislosti zloženia roztokov na výkone zvlákňovacieho zariadenia.



Obr. 18 Závislosť výkonu zariadenia Nanospider na zložení roztokov.

### 3.5.6 Sieťovanie a testovanie rozpustnosti v destilovanej vode

Keďže vytvorené nanovláknenné vrstvy boli rozpustné vo vode, bolo potrebné tieto vzorky sieťovať. Sieťovanie sa robilo v teplovzdušnej sušiarňi, tzn., že sieťujúci proces bol iniciovaný vplyvom tepla. Postupovalo sa dvoma spôsobmi. V prvom prípade šlo o sieťovanie pri konštantnej teplote, po rôznu dobu. Ďalší spôsob spočíval v sieťovaní pri rôznych teplotách a v rovnakom čase.

Na takto vytvorených vrstvách bola následne skúmaná rozpustnosť v destilovanej vode a správanie sa týchto vrstiev vo vode. V prílohe 5 sú uvedené obrázky vrstiev pred a po vymývaní, a obrázky odpovedajúce „Použitým znakom“ pri hodnotení vymytia viz. nižšie.

U vzoriek vytvorených z PAA v zmesi s PVA, v pomere 7:3 a 8:2, bolo možné sledovať jemné zhnednutie nanovláknenných vrstiev po sieťovaní, pri teplote 150°C, po dobu 30 a 60 minút. Toto mohlo byť spôsobené degradáciou zosieťovaných vrstiev.

Pri vymývaní sa vzorky po kontakte s vodou zmáčali takmer okamžite. Neochotne sa zmáčali vzorky v pomere 4:6 sieťované pri teplote 150 a 170°C po dobu 10 min a vzorky v pomere 5:5 sieťované pri teplote 150°C. Po pár sekundách však došlo tiež k úplnému zmočeniu.

U zosieťovaných vzoriek vytvorených z PAA v zmesi PEO s obsahom 5, 10 a 15 hm% PEO dochádzalo po kontakte s vodou k okamžitému zmrašteniu a u vzoriek 5 a 10 hm.% PEO dochádzalo k tvorbe gélu. Zosieťované nanovláknenné vrstvy s obsahom 20 a 25 hm.% PEO sa po kontakte s destilovanou vodou úplne vymývali.

Posledné vzorky s obsahom PAA v zmesi s Gly sa celkovo zmáčali neochotne. K úplnému zmočeniu došlo až v priebehu niekoľkých sekúnd. Z nanovláknenných vrstiev, ktoré boli sieťované pri teplote 150°C a po dobu 30 a 60 min sa po kontakte s vodou tvoril gél. U ostatných vzoriek dochádzalo k vymývaniu vrstiev.

Hodnoty, za ktorých prebiehalo sieťovanie nanovláknenných vrstiev a odolnosť zosieťovaných vrstiev pri zmočení v destilovanej vode, sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách 2, 3 a 4.

Použité znaky pri hodnotení vymytia nanovláknenných vrstiev:

|     |   |
|-----|---|
| - - | rozpustená vrstva                                     |
| -   | nerozpustená fólia                                    |
| +   | nerozpustená fólia s viditeľnou štruktúrou nanovláken |
| ++  | nerozpustené nanovláknena                             |

Tab. 2 Hodnoty použité pri sieťovaní s vyhodnotením vymývania zosieťovaných vzoriek PAA v zmesi s PVA.

| Vplyv teploty sieťovania (konštantný čas 10 minút)  |     |     |    |    |     |    |    |     |    |    |
|---|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|
| Teplota sieťovania [°C]                             |     | 120 |    |    | 150 |    |    | 170 |    |    |
| Čas máčania vo vode [min]                           |     | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 |
| Obsah PAA v zmesi s PVA                             | 4:6 | --  | -- | -- | -   | -- | -- | +   | +  | +  |
|   | 5:5 | --  | -- | -- | -   | -  | -  | +   | +  | +  |
|   | 6:4 | --  | -- | -- | -   | -  | -  | ++  | +  | ++ |
|   | 7:3 | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
|   | 8:2 | --  | -- | -- | -   | -- | -- | -   | -  | -- |
| Vplyv času pri sieťovaní (konštantná teplota 150°C) |     |     |    |    |     |    |    |     |    |    |
| Čas sieťovania [min]                                |     | 10  |    |    | 30  |    |    | 60  |    |    |
| Čas máčania vo vode [min]                           |     | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 |
| Obsah PAA v zmesi s PVA                             | 4:6 | -   | -- | -- | ++  | ++ | ++ | ++  | ++ | ++ |
|   | 5:5 | -   | -  | -  | ++  | ++ | ++ | ++  | ++ | ++ |
|   | 6:4 | -   | -  | -  | ++  | ++ | ++ | ++  | ++ | ++ |
|   | 7:3 | -   | -  | -  | ++  | ++ | +  | ++  | ++ | ++ |
|   | 8:2 | -   | -- | -- | ++  | +  | +  | ++  | ++ | ++ |

Tab. 3 Hodnoty použité pri sieťovaní s vyhodnotením vymývania zosieťovaných vzoriek PEO v zmesi s PAA.

| Vplyv teploty sieťovania (konštantný čas 10 minút)  |     |     |    |    |     |    |    |     |    |    |
|---|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|
| Teplota sieťovania [°C]                             |     | 120 |    |    | 150 |    |    | 170 |    |    |
| Čas máčania vo vode [min]                           |     | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 |
| Obsah PAA v zmesi s PEO                             | 5%  | --  | -- | -- | --  | -- | -- | --  | -- | -- |
|   | 10% | --  | -- | -- | --  | -- | -- | --  | -- | -- |
|   | 15% | --  | -- | -- | --  | -- | -- | --  | -- | -- |
|   | 20% | --  | -- | -- | --  | -- | -- | --  | -- | -- |
|   | 25% | --  | -- | -- | --  | -- | -- | --  | -- | -- |
| Vplyv času pri sieťovaní (konštantná teplota 150°C) |     |     |    |    |     |    |    |     |    |    |
| Čas sieťovania [min]                                |     | 10  |    |    | 30  |    |    | 60  |    |    |
| Čas máčania vo vode [min]                           |     | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 |
| Obsah PAA v zmesi s PEO                             | 5%  | --  | -- | -- | -   | -  | -  | +   | +  | +  |
|   | 10% | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
|   | 15% | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
|   | 20% | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
|   | 25% | --  | -- | -- | --  | -  | -- | --  | -  | -- |

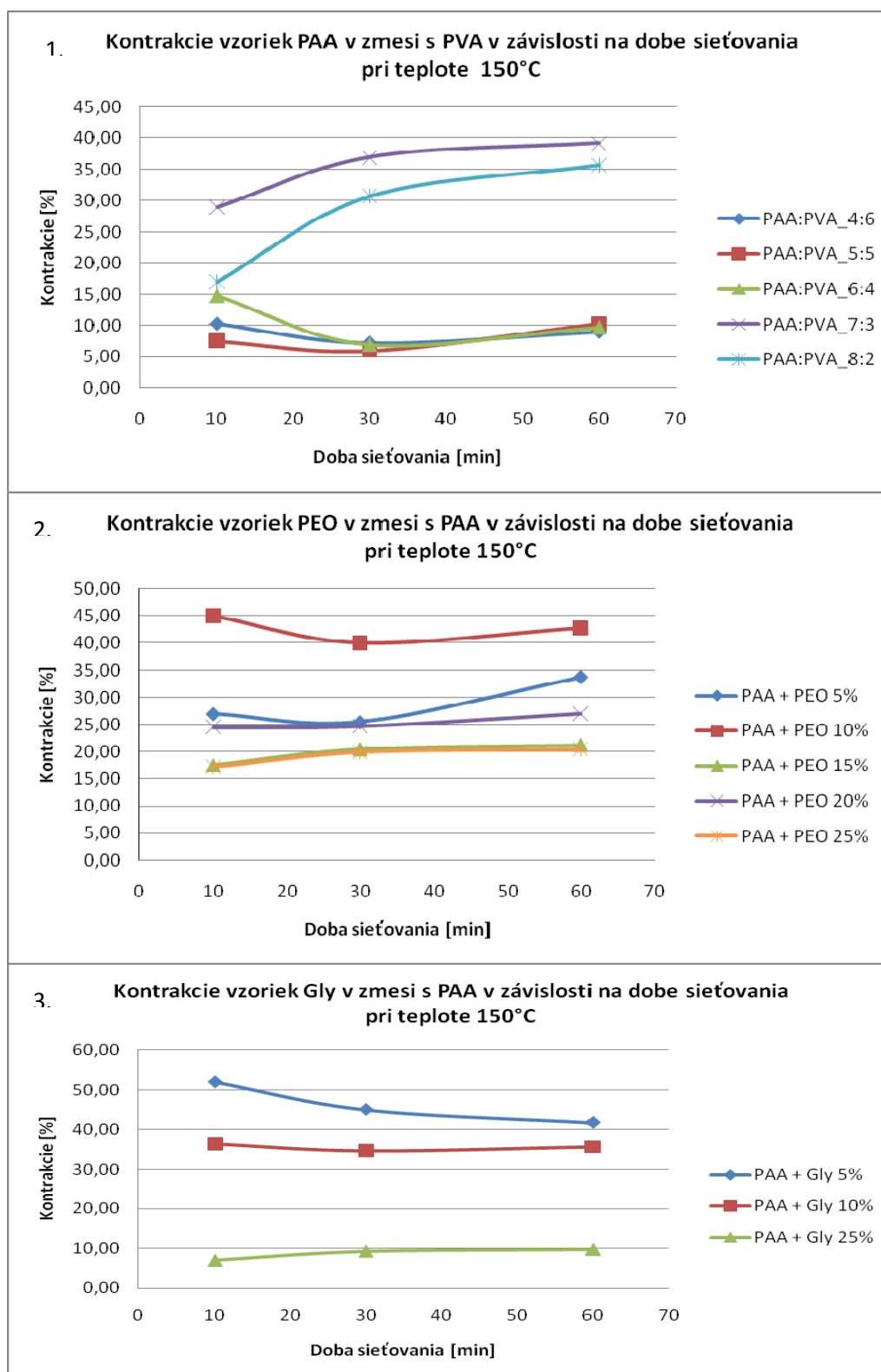


Tab. 4 Hodnoty použité pri sieťovaní s vyhodnotením vymývania zosieťovaných vzoriek Gly v zmesi s PAA.

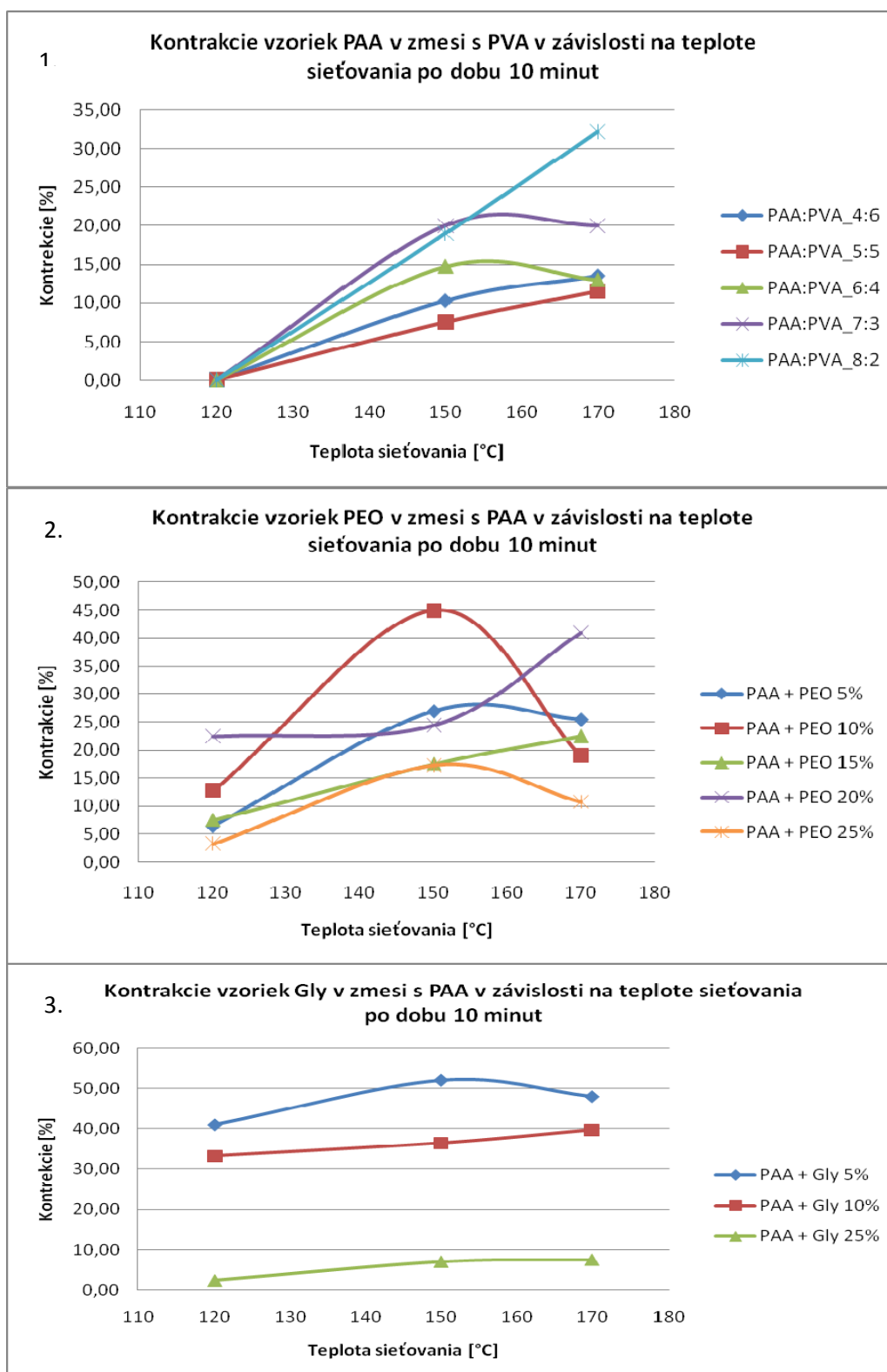
| Vplyv teploty sieťovania (konštantný čas 10 minút)  |     |     |    |    |     |    |    |     |   |    |
|---|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|---|----|
| Teplota sieťovania [°C]                             |     | 120 |    |    | 150 |    |    | 170 |   |    |
| Čas máčania vo vode [min]                           |     | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 | 2   | 5 | 10 |
| Obsah PAA v zmesi s Gly                             | 5%  | --  | -- | -- | --  | -- | -- | -   | - | -  |
|   | 10% | --  | -- | -- | --  | -- | -- | -   | - | -  |
|   | 25% | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | - | -  |
| Vplyv času pri sieťovaní (konštantná teplota 150°C) |     |     |    |    |     |    |    |     |   |    |
| Čas sieťovania [min]                                |     | 10  |    |    | 30  |    |    | 60  |   |    |
| Čas máčania vo vode [min]                           |     | 2   | 5  | 10 | 2   | 5  | 10 | 2   | 5 | 10 |
| Obsah PAA v zmesi s Gly                             | 5%  | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | - | -  |
|   | 10% | --  | -- | -- | -   | -  | -  | -   | - | -  |
|   | 25% | -   | -  | -  | -   | -  | -  | -   | - | -  |

### 3.5.7 Kontrakcie vzoriek

Pri sieťovaní dochádzalo k zmenám rozmerov vzoriek. Na nasledujúcich obrázkoch sú uvedené závislosti týchto zmien na sieťujúcich podmienkach. Na *Obr. 19* sú uvedené grafy s kontrakciami v závislosti na dobe sieťovania pri teplote 150°C. Z grafu 1. vidieť, že k najvýraznejším kontrakciám došlo u vzoriek s obsahom 7:3 a 8:2. Na grafe 2. vidieť, že najvýraznejšie zmeny nastali u vzorky s obsahom 10 hm.% PEO. V poslednom grafe 3. boli najvýraznejšie zmeny u vzorky s obsahom 5 hm.% Gly, kedy bola hodnota kontrakcie vyššia než 50% z pôvodného rozmeru. Konkrétne hodnoty kontrakcií sú uvedené v prílohe 6 - *Tab. 1, 2 a 3*. Na *Obr. 20* sú znázornené grafy, na ktorých sú uvedené závislosti kontrakcií na teplote sieťovania po dobu 10 minút. Na prvom grafe je vidno, že pri teplote 120°C nedochádzalo k zmenám rozmerov. Pri vyšších teplotách už dochádzalo k zmenám, ktoré boli najvýraznejšie pri vzorkách 7:3 a 8:2. V grafe 2. dochádzalo ku kontrakciám už pri najnižšej teplote 120°C. Najvýraznejšie zmeny boli u vzoriek s obsahom 10 a 20 hm.% PEO. Z tretieho grafu vidieť, že k najväčším zmenám došlo u vzoriek s obsahom 10 a 5 hm.% Gly. U vzorky s obsahom 5 hm.% Gly boli zmeny rozmerov väčšie ako 50% z pôvodného rozmeru (viz. príloha 6 - *Tab.3*).



Obr. 19 Kontrakcie vzoriek PAA v zmesi s PVA, PEO v zmesi s PAA a Gly v zmesi s PAA, v závislosti na dobe sieťovania pri teplote 150°C.



Obr. 20 Kontrakcie vzoriek PAA v zmesi s PAA, PEO v zmesi s PAA a Gly v zmesi s PAA, v závislosti na teplote sieťovania po dobu 10 minút.

## 3.6 EXPERIMENT 2

### 3.6.1 Príprava a siet'ovanie polymérnych roztokov

Ako už bolo spomenuté v kapitole 2.1, táto časť je venovaná príprave a zvlákňovaniu roztokov ako v predchádzajúcom experimente, avšak so začlenením mikro -dispergovanej oxidovanej celulózy - MDOC. MDOC bol vo forme prášku, preto bol riedený destilovanou vodou na 16% roztok.

Roztoky boli tvorené z kyseliny polyakrylovej a 16% MDOC v pomere 3:2 s pridaním daného siet'ovadla.

#### *Príprava a zvlákňovanie roztokov PAA v zmesi v PVA a 16% MDOC*

Po vytvorení roztoku z kyseliny polyakrylovej v zmesi s PVA vznikla po pridaní 16% MDOC zmes s vysokou viskozitou, ktorá bola veľmi lepivá, a ani po ďalšom pridaní destilovanej vody s ňou nebolo možné ďalej pracovať.

#### *Príprava a zvlákňovanie roztokov PAA v zmesi v PEO a 16% MDOC*

Roztoky vytvorené z PAA v zmesi s PEO mali po pridaní 16% MDOC vhodnú viskozitu, takže boli ďalej zvlákňované. V procese zvlákňovania však bolo potrebné meniť podmienky, pretože roztok nešiel za bežných podmienok zvlákňovať. Bola menená vzdialenosť elektród, rýchlosť otáčania valčeka, teplota a vlhkosť vzduchu, podkladová textília, ale proces zvlákňovania sa aj tak nenaštartoval. Pri roztoku s obsahom 10 hm.% PEO dochádzalo k slabému zvlákňovaniu na hranách valčeka. Preto je možné predpokladať, že zvlákňovanie by bolo možné pri použití profilovaného zvlákňovacieho valčeka.

#### *Príprava a zvlákňovanie roztokov PAA v zmesi v Gly a 16% MDOC*

Po vytvorení roztokov z PAA v zmesi s Gly s pridaním 16% MDOC sa tiež pokračovalo v zvlákňovaní. Pri zvlákňovaní bolo opäť nutné meniť podmienky ako v predchádzajúcom prípade. Napriek týmto zmenám sa nepodarilo tieto roztoky zvlákniť.

### 3.6.1.1 Vytvorenie skúšobných vzoriek

Keďže ani jeden z predchádzajúcich roztokov nebol zvlákňiteľný bola vytvorená skúšobná vzorka – **S1**, ktorú tvorila kyselina polyakrylová a 16% MDOC v pomere 3:2. K nej bola ako sieťujúce činidlo pridaná 85% kyselina fosforečná. Pri zvlákňovaní bolo opäť potrebné meniť podmienky, ale aj napriek tomu k zvlákneniu nedošlo.

Boli vytvorené ďalšie skúšobné vzorky a to tak, že do pôvodného skúšobného roztoku – **S1** boli pridávané ďalšie činidlá, a to:

- PAA,
- PEO,
- PVA s časticami striebra,
- PAA v liehu,
- povrchovo aktívna látka,
- nasýtený roztok soli.

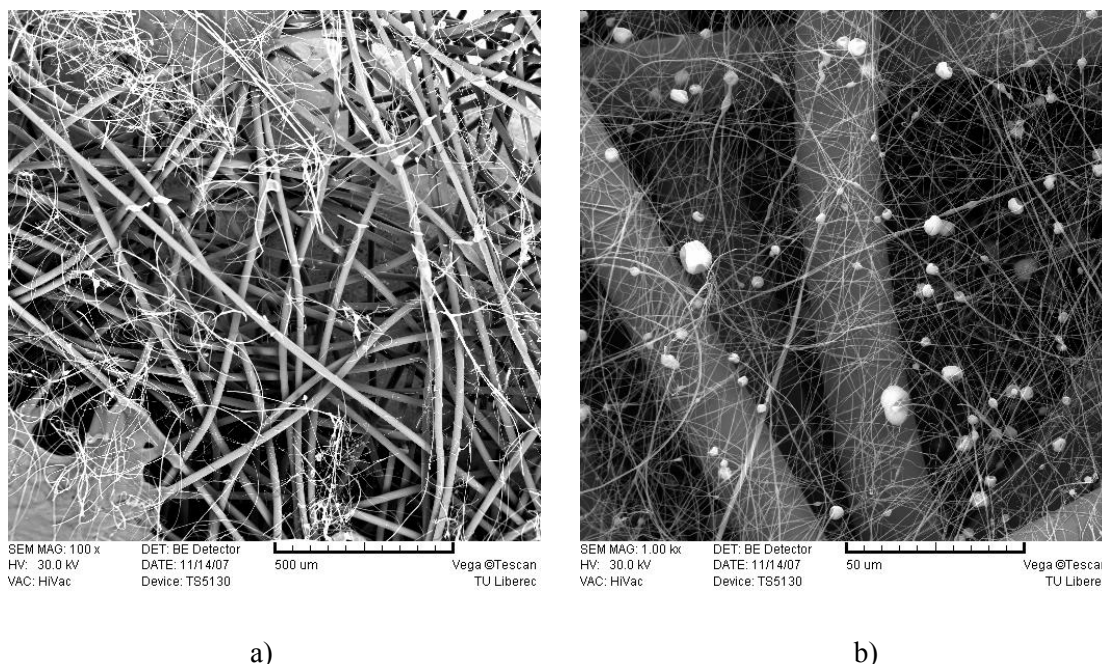
Zloženie skúšobných roztokov je uvedené v *Tab. 5*.

U vzoriek s pridaním **R1**, **R2** a **R6** nedochádzalo k zvlákňovaniu. Zmeny nastali u vzorky **R3**, kde sa na povrchu valčeka tvorili kónusy, ale k zvlákňovaniu nedochádzalo. U vzoriek **R4** a **R5** došlo k zvlákneniu. Pri zvláknení bolo použité napätie 81,9 kV. Na *Obr. 21* sú uvedené snímky týchto nanovláknenných vrstiev, zhotovené na rastrovom elektrónovom mikroskope VEGA TS 5130 (viz. kapitola 2.3.3.)

*Tab. 5 Zloženie skúšobných roztokov.*

| Skúšobná vzorka (S1) s pridaním ďalších činidiel |                                  |        |           |
|--|----------------------------------|--------|-----------|
| 10 [g] S1<br>+                                   | 1[g] PAA                         | Vzorka | <b>R1</b> |
|  | 1[g] PEO                         |        | <b>R2</b> |
|  | 1[g] PVA + časti striebra        |        | <b>R3</b> |
|  | 1[g] PAA v liehu                 |        | <b>R4</b> |
|  | 0,25[g] povrchovo aktívnej látky |        | <b>R5</b> |
|  | 1[g] nasýteného roztoku NaCl     |        | <b>R6</b> |

**S1** – pôvodná skúšobná vzorka - PAA:MODC (6:4)+ 9,41g 85% kyseliny fosforečnej/500 ml



*Obr. 21 Na snímke a) je nanovláknenná vrstva s pridaním PAA v liehu, na snímke b) je vrstva s pridaním povrchovo aktívnej látky.*

### 3.6.2 Diskusia výsledkov

Cieľom tejto práce bolo zistiť možnosti sieťovania kyseliny polyakrylovej s použitím rôznych sieťujúcich činidiel a následné začlenenie mikro – dispergovanej oxidovanej celulózy do takto vytvorených roztokov.

Experiment bol rozdelený do dvoch častí. V prvej časti boli vytvorené roztoky, ktorých základná zložka bola 35 hm.% kyselina polyakrylová. K nej boli pridávané sieťujúce činidlá: 16 hm.% polyvinylalkohol, polyethylénoxid a glycerín. Bola zisťovaná viskozita vytvorených roztokov, starnutie roztokov v čase a podmienky zvlákňovania.

#### Viskozita

Viskozita u vzoriek s obsahom 16 hm.% PVA vzrastala so zvyšujúcim sa obsahom PVA v zmesi s PAA. Odchýlka nastala u vzorky s pomerom 5:5, kedy došlo k poklesu viskozity (viz. Obr. 13). V čase  $t_{60}$  už však došlo k nárastu viskozity. Táto zmena mohla byť spôsobená tým, že reakčné skupiny potrebovali k svojmu preskupeniu dlhší čas. Z grafu vidno, že celkovo dochádzalo k nárastu viskozity v závislosti na čase.

Viskozita u roztokov s obsahom PEO v zmesi s PAA sa so zvyšujúcim obsahom PEO zvyšovala (Obr. 14).

Naopak u vzoriek s obsahom Gly dochádzalo s jeho pridávaním k poklesu viskozity (viz. *Obr. 15*). Čo mohlo byť spôsobené tým, že glycerín patrí medzi nízkomolekulárne látky, a teda došlo k väčšiemu nariedeniu roztoku. Zmena v hodnote viskozity nastala pri vzorke s obsahom 20 hm.%, pretože došlo k jej nárastu. Ďalej možno sledovať nárast viskozity u vzoriek s obsahom 15 a 20 hm.% v čase  $t_{30}$  a následný pokles v čase  $t_{60}$ . Celkovo je z grafu vidieť pokles viskozity v čase  $t_{60}$ .

### Zvlákňovanie

Pri zvlákňovaní vzoriek s obsahom PAA v zmesi s PVA prebiehalo samotné zvlákňovanie bez problémov a za normálnych podmienok. Zmena nastala pri vzorkách 4:6, 5:5 a 6:4, pretože boli upravené podmienky, a to zväčšením vzdialenosti elektród. Bolo to z toho dôvodu, že pri bežných podmienkach zvlákňovania bol vysoký výkon, ktorý spôsoboval tvorbu fólie miesto nanovláken.

Vzorky s obsahom 5, 10 a 15 hm.% PEO boli zvlákňované za bežných podmienok. Pri ďalších vzorkách – 20 a 25 hm.% boli potrebné zmeny podmienok použitím teplého vzduchu (30°C). K lepšiemu zvlákňovaniu dochádzalo u vzorky 20 hm.%, pretože vzorka s obsahom 25 hm.% bola vytváraná o nižšej plošnej hmotnosti. Bolo tiež vidno, že vytvorené vrstvy nie sú rovnomerné.

Pri zvlákňovaní roztokov s obsahom Gly boli použité bežné podmienky. Vytvorené nanovláknenné vrstvy sa však zrážali. So vzorkami s obsahom 15 a 20 hm.% Gly sa ďalej nepracovalo, pretože kontrakcie boli veľmi výrazné, viz. *Obr. 16*. U vytvorených nanovláknenných vrstiev bolo možné sledovať ich nerovnomernosť.

### Priemery nanovláken

Z grafov uvedených v kapitole 3.5.4, je vidieť závislosť vplyvu sieťujúcich činidiel na priemery nanovláken. U vzoriek s obsahom PVA je vidno, že priemery nanovláken stúpali so zvyšujúcim sa obsahom PVA v zmesi s PAA. Táto skutočnosť odpovedá i hodnotám nameranej viskozity. Vzorky s obsahom polyetylénoxidu vykazujú podobnú závislosť, tzn., že so zvyšujúcim sa obsahom PEO v zmesi s PAA dochádzalo k nárastu priemerov vlákien. Čo opäť odpovedá hodnotám viskozity zvlákňovaných roztokov. Priemery nanovláken vytvorené z roztokov s obsahom Gly tiež rástli ako u ostatných vzoriek. Viskozita však klesala, čo bolo pravdepodobne spôsobené nariedením roztoku glycerínom.

### Výkon Nanospideru

Z hľadiska výkonu sa ako najlepšia vzorka PAA v zmesi s PVA javí koncentrácia 4:6 a 7:3. U vzoriek s obsahom PEO majú najlepší výkon vzorky s obsahom 10 a 20 hm.% PEO. Zo vzoriek s obsahom Gly sa ako najlepšia javila vzorka s obsahom 10 hm.% Gly v zmesi s PAA.

### Sieťovanie a vymývanie

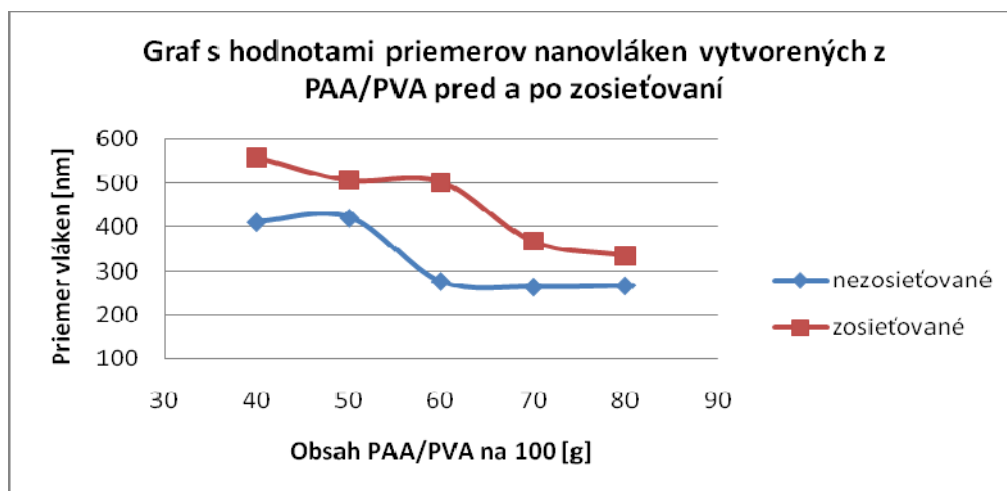
V závislosti na teplote možno ako najlepšiu považovať vzorku s obsahom PVA/PAA 6:4. Je však potrebné zvoliť minimálnu teplotu 150°C, pretože pri 120°C nedošlo k dostatočnému posieťovaniu nanovláknenných vrstiev. V závislosti na čase je z *Tab. 2* vidieť, že so zvyšujúcim časom, dochádzalo k lepšiemu posieťovaniu vrstiev.

U vzoriek s obsahom PEO je z *Tab. 3* vidieť, že v závislosti na teplote, boli tieto vzorky posieťované nedostatočne. V závislosti na dĺžke sieťovania už dochádzalo k posieťovaniu, ale až po dobe 30 minút.

Výsledky vzoriek s obsahom Gly sú uvedené v *Tab. 4*. V porovnaní s výsledkami vzoriek s obsahom PEO je vidieť, že v závislosti na teplote, už dochádzalo u vzoriek s obsahom Gly k posieťovaniu. Musí byť však zvolená minimálna teplota 150°C. V závislosti na dobe sieťovania je vidieť, že s vyšším časom posieťovanie rastie.

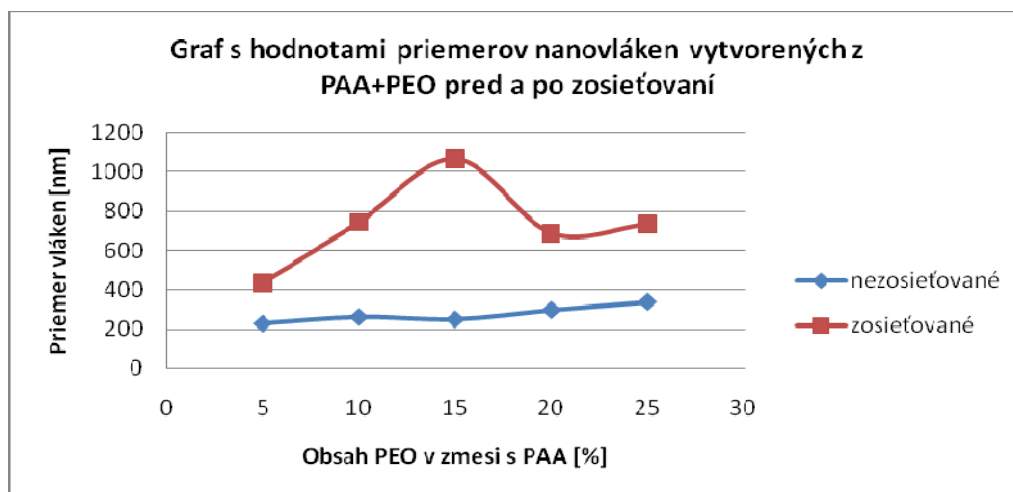
### Kontrakcie

Bolo zistené, že u zosieťovaných vzoriek, ale i niektorých nezosieťovaných, dochádzalo ku kontrakciám. Tieto zmeny sú však pre použitie týchto materiálov nevyhovujúce. Nevýhodou je v prvom rade zmena rozmerov materiálu. Vplyvom kontrakcií tiež dochádza k zmene priemerov nanovláken. Na nasledujúcich *Obr. 22* a *Obr. 23* je z grafov vidieť zmena hodnôt priemerov nanovláken pred a po zosieťovaní.



*Obr. 22 Graf s hodnotami priemerov nanovláken vytvorených z PAA/PVA pred a po zosieťovaní*

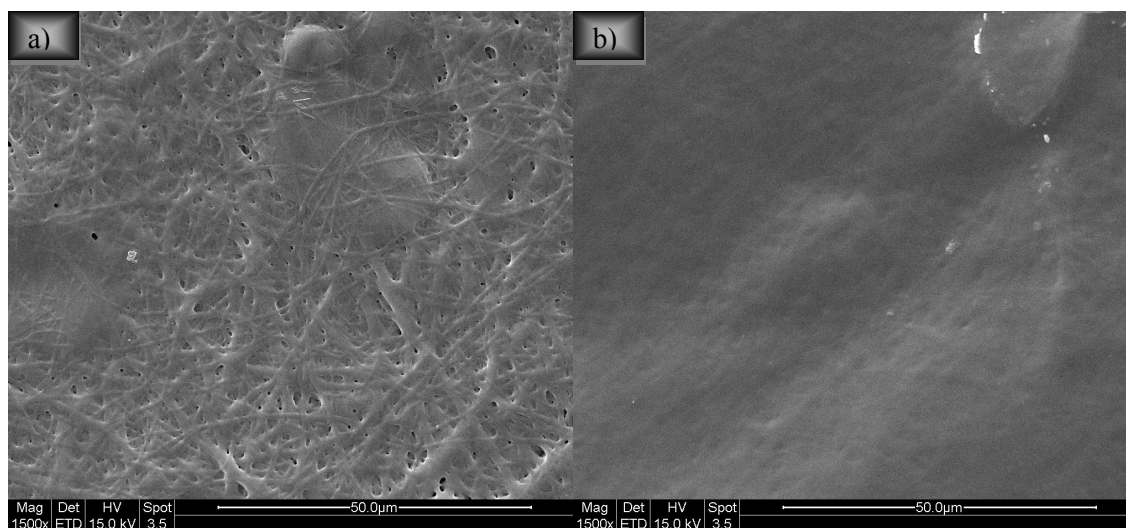




Obr. 23 Graf s hodnotami priemerov nanovláken vytvorených z PAA+PEO pred a po zosieťovaní.

Hodnoty priemerov nanovláken pred a po zosieťovaní sú uvedené v prílohe 3.

Pri vzorkách s obsahom glycerínu sa podarilo namerať priemery nanovláken iba u vzorky s obsahom 5hm.% Gly. Hodnoty týchto priemerov boli tiež vyššie oproti priemerom nezosieťovaných nanovláken (viz. príloha 3, *Tab. 2 b*). U ostatných vzoriek (s obsahom 10 a 25 hm.% Gly) došlo vplyvom sieťovania k vytvoreniu fólií s viditeľnými vláknami. Snímky sú uvedené na nasledujúcom Obr. 24.



Obr. 24 Nanovláknenné vrstvy po zosieťovaní, vytvorené z PAA + 10hm.% Gly - snímka a) a PAA + 25hm.% Gly –snímka b).

Na Obr. 19 a 20 sú uvedené grafy, znázorňujúce zmeny rozmerov zosieťovaných nanovláknenných vrstiev, a to v závislosti na čase a teplote sieťovania. V závislosti na teplote, boli u vzoriek s obsahom PVA, namerané najväčšie zmeny

u vzorky 8:2 a 7:3. Naopak najmenšie zmeny boli zistené u vzorky 5:5. V závislosti na dobe sieťovania boli najväčšie zmeny namerané u vzorky 7:3 a 8:2 a najmenšie u vzorky 5:5. Je možné si všimnúť, že k nárastom kontrakcií dochádzalo u vzoriek s vyšším obsahom PAA.

U vzoriek s obsahom PEO dochádzalo v závislosti na teplote k najnižším kontrakciám u vzorky s obsahom 25 hm.% PEO. Najvýraznejšie zmeny boli zistené u vzorky s obsahom 10 hm.% PEO. V závislosti na čase boli najvýraznejšie zmeny opäť u vzorky s obsahom 10 hm.% PEO. Najnižšie hodnoty mala vzorka s obsahom 15 hm.% PEO. Opäť sa dá sledovať závislosť vyšších kontrakcií s väčším obsahom PAA.

Je možné sledovať, že u vzoriek s obsahom Gly, v závislosti na teplote, dochádzalo ako v predchádzajúcom prípade, k najmenším zmenám u vzorky s vyšším obsahom sieťujúceho činidla, konkrétne 25 hm.% Gly. Naopak u vzorky s nižším obsahom Gly – 5 hm.% došlo k najvýraznejším zmenám. Zmeny v závislosti na čase sú rovnaké ako u závislosti na teplote sieťovania. Podrobnejšie sú tieto zmeny popísané v kapitole 3.5.7. Ako v predchádzajúcich prípadoch i u týchto vzoriek je vidieť závislosť, že s nižším obsahom sieťujúceho činidla, dochádzalo v vyšším kontrakciám.

V druhej časti experimentu boli vytvorené roztoky obdobne ako v experimente 1, z kyseliny polyakrylovej, navyše s pridaním 16% MDOC v pomere 3:2 a daného sieťujúceho činidla.

Ani u jedného z takto vytvorených roztokov však nedošlo k zvlákneniu. Bol preto vytvorený skúšobný roztok –**S1**. Ten sa však tiež nepodarilo zvlákniť. Následne k nemu boli pridávané ďalšie sieťujúce činidlá, a tým boli vytvorené skúšobné roztoky **R1** – **R6** (viz. kapitola 3.6.1.1). U týchto roztokov, bol zisťovaný vplyv ďalších aditív na proces zvlákňovania.

K zvlákňovaniu došlo u vzoriek **R4** (PAA v liehu) a **R5** (povrchovo aktívna látka). Dá sa teda predpokladať, že k tomu, aby došlo k samotnému zvlákňovaniu týchto roztokov, je potrebné upraviť ich povrchové napätie.

## 4 Záver

Táto diplomová práca sa zaoberala možnosťou zvlákňovania kyseliny polyakrylovej a následným začlenením MDOC pre použitie v obväzových materiáloch. Keďže tieto materiály majú byť používané do ľudského tela, bolo cieľom vytvárať vrstvy s čo najmenším obsahom aditív, nevhodných pre ľudský organizmus.

Kyselina polyakrylová je bežne zvlákniteľná metódou elektrostatického zvlákňovania a z hľadiska výkonu patrí medzi komerčne využiteľné polyméry. Pri čom však sama o sebe nie je sieťovateľná, a je teda po zosieťovaní rozpustná.

V samotnom experimente 1 bolo zistené, že prídavkom použitých sieťovadiel, konkrétne polyvinylalkoholu, polyethylénoxidu a glycerínu, dochádzalo k nárastu viskozity roztokov v čase. Výnimka bola u roztokov s glycerínom, kde dochádzalo k poklesu viskozity. Pretože glycerín je nízkomolekulárna látka, a pravdepodobne spôsobil ich nariedenie. Spomínaný nárast viskozity má však za následok zvyšovanie priemerov vláken, čo znamená, že vytvorené systémy nie sú stabilné v čase. Z toho vyplýva, že použité sieťujúce činidlá nie sú vhodné, pretože by dochádzalo k zmene výsledného produktu, čo nie je žiaduce. Okrem toho pri sieťovaní dochádzalo k vysokým kontrakciám vytvorených materiálov, ktoré rovnako nie sú žiaduce. Z výsledkov je zrejmé, že kontrakcie boli spôsobené samotnou kyselinou polyakrylovou, pretože vo všetkých troch prípadoch sa so zvyšujúcim obsahom sieťujúceho činidla kontrakcie znižovali.

Zvlákňovanie samo o sebe nebolo jednoduché. Najlepšie výsledky boli u vzoriek s obsahom PVA, ďalej u PEO a nakoniec Gly. Z hľadiska výkonu sa ako lepšie javili vzorky s obsahom PVA a PEO oproti Gly. Hodnotenie výsledkov z hľadiska sieťovania je veľmi zložitá. Nevieme totiž, či je skôr vyhovujúce, aby vytvorené vrstvy boli so štruktúrou vláken alebo aby z nich bol gél.

V experimente 2 sa bohužiaľ nepodarilo zvlákniť kyselinu polyakrylovú s prídavkom MDOC, a to i pri rôznych podmienkach napr.: teplota, vzdialenosť elektród, podkladový materiál... Vytvorením ďalších skúšobných vzoriek sa nakoniec podarilo zvlákniť vzorky s obsahom povrchovo aktívnej látky a PAA v liehu. Z čoho možno usúdiť, že je potrebné aby bolo upravené povrchové napätie roztokov. V prípade povrchovo aktívnej látky je však, z hľadiska použitia takéhoto materiálu do ľudského

tela, táto možnosť nevyhovujúca. Pri použití liehu, čo jest horľavina, ktorá je ľahko zápalná, by bol zase problém s tým, že počas výroby elektrostatickým zvlákňovaním môže dôjsť k vznieteniu. Ďalej sa lieh rýchlo odparuje, čo by malo za následok nestabilitu roztoku v čase.

Z hľadiska komerčného využitia treba brať do úvahy rôzne faktory. Jedným z nich je energetické hľadisko, tzn. že vhodný materiál by mal dosiahnuť vhodného posieťovania pri optimálnych podmienkach (maximálne 30 minút). Tiež treba brať v úvahu napríklad výkon zvlákňovacieho zariadenia, ďalej čo najnižšie, najlepšie žiadne, kontrakcie vrstiev. Z výsledkov experimentu sa dá povedať, že najvhodnejším materiálom by mohla byť vzorka s obsahom PVA a to v pomere 4:6 (PAA:PVA).

## Použitá literatura

- [1] Růžicková, J.: *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*, TUL, Liberec 5/2006
- [2] Jirsák, O., Lukáš, D., Sanetrník, F., Martinová, L., Chaloupek, J., Růžicková, J., Košťáková, E., Hruža, J.: *Výroba a vlastnosti nanovláken*, TUL
- [3] *Technologie Nanospider společnosti ELMARCO* [online]. 2006 [cit. 2008-02-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.gate2biotech.cz/technologie-nanospider-spolecnosti-elmarco/>>.
- [4] Gažo, J., a kolektiv: *Všeobecná organická chémie*. ALFA Bratislava 9/1978
- [5] *Faktory ovlivňující rozpustnost látek* [online]. 2005 [cit. 2008-02-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.ped.muni.cz/WCHEM/sm/hc/Rozpustnost.pdf>>.
- [6] VOLLMERT, B. *Základy makromolekulární chemie*. 1. vyd. Praha: Academia, nakladatelství ČSAV, 1970.
- [7] BARTOVSKÁ, L, ŠIŠKOVÁ, M. *Roztoky makromolekul* [online]. 2005 [cit. 2007-12-12]. Dostupný z WWW: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/roztoky\\_makromolekul.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/roztoky_makromolekul.html)>.
- [8] <http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/chemia/19354/?print=1>
- [9] [http://hellweb.info/school/elt/!08\\_soubory/image005.png](http://hellweb.info/school/elt/!08_soubory/image005.png)
- [10] VRAJOVÁ, Jitka, ROUBALOVÁ, Jana. *Praktikum z fyzikální chemie* [online]. 2000 [cit. 2008-01-13]. Dostupný z WWW: <[www.jadem.wz.cz/sem3/01fyzchemI.doc](http://www.jadem.wz.cz/sem3/01fyzchemI.doc)>.
- [11] *Stanovení viskozity roztoků – teoretická část* [online]. 2008 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_stanoveni\\_viskozity\\_rozto-ku/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_rozto-ku/index.htm)>.
- [12] *Základy reologie a reometrie kapalin* [online]. 1999 [cit. 2008-03-22]. Dostupný z WWW: <<http://kf.upce.cz/Reologie%20a%20reometrie%20kapalin.doc>>.
- [13] <http://sk.wikipedia.org/wiki/Viskozita>
- [14] Holubová, J.: *Nanovlákná z kyseliny polyakrylové*. Diplomová práce. TUL, Liberec 2004
- [15] PETR, Jaroslav. *Hydrogely a umělá rohovka* [online]. 2006 [cit. 2008-01-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=2119>>.
- [16] <http://vyuka.z-moravec.net/download/1-04polymery4.pdf>
- [17] [http://www.petivoka.cz/en/text\\_painting.htm](http://www.petivoka.cz/en/text_painting.htm)

- [18] <http://www.refan.sk/tema-kozmetika-slovník-krasny.htm?onlybox=282&nostyle=1>
- [19] <http://www.siklienka.sk/aquamid.html>
- [20] ROUBALÍKOVÁ, Lenka. *KAVITAN PLUS - úvodní informace a první zkušenosti* [online]. 2002 [cit. 2008-03-03]. Dostupný z WWW: [http://www.spofadental.com/informace/LKS\\_0204.pdf](http://www.spofadental.com/informace/LKS_0204.pdf).
- [21] [http://referaty.atlas.sk/prirodne\\_vedy/chemia/20190/](http://referaty.atlas.sk/prirodne_vedy/chemia/20190/)
- [22] PECKA, M, et al. *Pokles krevních destiček po aplikaci PAGA s navázanými iony některých kovů* [online]. 2006 [cit. 2008-02-22]. Dostupný z WWW: <http://www.hkcredit.cz/hema/7/prednasky.pdf>.
- [23] KUČEROVÁ, I. *Atmosférická degradace dřeva* [online]. 2005 [cit. 2008-01-14]. Dostupný z WWW: [http://www.vscht.cz/met/aki/kom\\_49/49\\_09\\_12.pdf](http://www.vscht.cz/met/aki/kom_49/49_09_12.pdf).
- [24] <http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>
- [25] [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20071113/TVN\\_prednaska\\_7.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20071113/TVN_prednaska_7.pdf)
- [26] MURTINGER, Karel. *Dřevo a jeho spalování* [online]. 2006 [cit. 2008-01-05]. Dostupný z WWW: <http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=a38817a34c7ba34679463eb49cb2572e&cid=4524cab599676>.
- [27] *Celulóza a jej micelárna štruktúra* [online]. 2003 [cit. 2008-02-02]. Dostupný z WWW: [http://www.infovek.sk/predmety/biologia/diplomky/biologia\\_bunky/celuloza%20a%20jej%20micelarna%20struktura.htm](http://www.infovek.sk/predmety/biologia/diplomky/biologia_bunky/celuloza%20a%20jej%20micelarna%20struktura.htm).
- [28] *Chemické premeny pri delignifikácii dreva* [online]. 2002 [cit. 2007-12-04]. Dostupný z WWW: <http://www.chtf.stuba.sk/kot/otp/99-101.pdf>.
- [29] Popelkova, M.: *Vliv relativní vlhkosti a použité podkladové textilie na vlastnosti výsledné nanovlákněné vrstvy s obsahem MDOC*. Diplomová práce. TUL, Liberec 2006
- [30] <http://www.batist.cz/new/?SSID=b17fdb6c801674579ab7125f3e78b2b&akce=katalog&kid=99>
- [31] *Multicentrická, randomizovaná, kontrolovaná, paralelně skupinová dietní intervenční studie účinku užívání dvou forem doplňků stravy Pagacol™ (standardní Pagacol™ 4 g 3x denně a rozpustný Pagacol™ 4 g 3x denně) na koncentraci sérového LDL cholesterolu u osob s lehce až středně vyššími sérovými hodnotami LDL cholesterolu* [online]. 2007 [cit. 2008-01-22]. Dostupný z WWW: [www.translatorscafe.com/cafe/file/?id=7107](http://www.translatorscafe.com/cafe/file/?id=7107).

- [32] Biskupičová, S.: *Vliv koncentrace MDOC ve směsi s PVA a vliv síťování na vlastnosti nanovlákněné vrstvy*. Diplomová práce. TUL, Liberec 2006
- [33] [http://www.ikon.sk/pomarkmd1/products\\_naplast\\_sk.asp](http://www.ikon.sk/pomarkmd1/products_naplast_sk.asp)
- [34] SLONKOVÁ, Veronika, VAŠKŮ, Vladimír. *Terapie chronických bércových ulcerací pomocí oxidované celulózy* [online]. 2007 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.muni.cz/research/publications/752035>>.
- [35] Schejbalová, H., Stibor, I. *Úvod do studia organické a makromolekulární chemie*. TUL 1.vyd. Liberec 2004
- [36] PŘEDNÁŠKY Polymery [online]. 2002 [cit. 2008-02-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.imc.cas.cz/sympo/02polcs/predn.htm>>.
- [37] HERRON, CARLISLE M, et al. *Individualized cellulosic fibers crosslinked with polyacrylic acid polymers* [online]. 1996 [cit. 2008-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.freepatentsonline.com/5549791.html>>.
- [38] DIMITROV, MILEN, et al. *Hydrogels based on the chemically crosslinked* [online]. 2003 [cit. 2008-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://public.carnet.hr/acphee/Dimitrov.pdf>>.
- [39] Park, K., Shalaby, W.S.W, Park, H.: *Biodegradable hydrogels for drug delivery* [online]. [cit. 2008-02-017]. Dostupný z WWW: <[http://www.amazon.com/gp/reader/1566760046/ref=sib\\_dp\\_pt/103-8729960-0358240#reader-link](http://www.amazon.com/gp/reader/1566760046/ref=sib_dp_pt/103-8729960-0358240#reader-link)>
- [40] MLEZIVA, J. – KÁLAL, J. *Základy makromolekulární chemie*. SNTL 1. vyd. Praha 1986.
- [41] [http://www.sazp.sk/slovak/struktura/COH/oem/pdf/vyrobyky\\_evv.pdf](http://www.sazp.sk/slovak/struktura/COH/oem/pdf/vyrobyky_evv.pdf)
- [42] [http://is.muni.cz/th/143011/lf\\_m/Diplomovaprace-defl.doc](http://is.muni.cz/th/143011/lf_m/Diplomovaprace-defl.doc)
- [43] *Výzkumné centrum Pokročilé sanační technologie a procesy* [online]. 2006 [cit. 2008-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://centrum-sanace.cs.cas.cz/index.php?content=zprava2005.pdf{=cs}>>.
- [44] PECHOVÁ, N. *Síťování polyvinylalkoholových nanovláken*. Diplomová práce. TUL, Liberec 2004.
- [45] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/185772-glycerin>
- [46] FAKTA A STATISTIKY [online]. 2003 [cit. 2007-12-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.gaav.cz/data/pdf/ostatni/Rocenka\\_2002.pdf](http://www.gaav.cz/data/pdf/ostatni/Rocenka_2002.pdf)>.

- [47] KODÍČEK, M. *glycerol*. From *Biochemické pojmy : výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2008-02-08]. Available from www: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002/ebook.html?p=glycerol](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=glycerol)>
- [48] <http://www.norskalinie.cz/natural-white.html>
- [49] <http://www.mzcr.cz/Odbornik/file.aspx?id=54&name=Specifikace%20skladovac%C3%ADch%20podm%C3%ADnek%2001-08-2004.rtf>
- [50] *Výzkumný projekt - Kryokonzervace erytrocytů - vybudování banky zmražené krve: "Strategická krevní banka"* [online]. 2008 [cit. 2008-01-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.uvn.cz/CS/content/view/543/523/1/1>>.
- [51] *Zdravotnické noviny* [online]. 2008 [cit. 2008-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.strategie.cz/scripts/detail.php?id=262682>>.
- [52] HAAKE Falling Ball Viscometer C, Instruction manual
- [53] [http://www.fisherww.sk/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=shop.flypage&product\\_id=7984&category\\_id=219&manufacturer\\_id=0&option=com\\_virtuemart&Itemid=26](http://www.fisherww.sk/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=7984&category_id=219&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=26)
- [54] VEGA TS 5130 Rastrovací elektronový mikroskop, Technický popis a návod k obsluze, Firma Tescan s.r.o.
- [55] SALAČOVÁ, J. *Kooperace softwarových systémů LUCIA<sup>TM</sup> G, MATLAB<sup>®</sup>, FEMLAB pro studium struktury tkaninových kompozitů*: online. Dostupné z: <[dsp.vscht.cz/konference\\_matlab/matlab04/salacova.pdf](http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab04/salacova.pdf)>
- [56] LUCIA, Uživatelská příručka, Laboratory Imaging s. r. o., Praha
- [57] Evropská norma ČSN EN 29073 – 1



## **ZOZNAM PRÍLOH**

**Príloha 1** – Parametre guľičiek viskozimetra HAAKE Falling Ball Viscometer C  
a hodnoty potrebné k výpočtu dynamickej viskozity

**Príloha 2** – Hodnoty skúšobných vzoriek PAA/PVA v závislosti na obsahu vody  
a vzoriek s obsahom PEO a Gly

**Príloha 3** – Priemery nanovláken pred a po zosieťovaní

**Príloha 4** – Hodnoty pre výpočet výkonu zvlákňovacieho zariadenia

**Príloha 5** – Snímky nanovláknenných vrstiev pred a po kontakte s vodou a obrázky  
prehodnotenie vrstiev po kontakte s vodou

**Príloha 6** – Kontrakcie vzoriek

**Príloha 1** - Parametre guľičiek viskozimetra HAAKE Falling Ball Viscometer C  
a hodnoty potrebné k výpočtu dynamickej viskozity

Tab. 1 Parametre jednotlivých guľičiek viskozimetra HAAKE Falling Ball Viscometer C.

| Číslo guľičky | Hmotnosť guľičky [g] | Priemer guľičky [mm] | Hustota guľičky [g/cm <sup>3</sup> ] | Konštanta K |
|---------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|
| 1             | 4,6112               | 15,809               | 2,229                                | 0,01172     |
| 2             | 4,4225               | 15,597               | 2,226                                | 0,10771     |
| 3             | 16,0963              | 15,584               | 8,123                                | 0,12310     |
| 4             | 14,9002              | 15,202               | 8,100                                | 0,69539     |
| 5             | 11,6538              | 14,004               | 8,104                                | 6,66138     |
| 6             | 5,6901               | 11,025               | 8,109                                | 34,20369    |

Tab. 2 – Tabuľka s nameranými hodnotami potrebnými pre výpočet dynamickej viskozity

| Vzorka        | Číslo guľičky | Doba prietoku [s] |          |          | $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ] | Dynamická viskozita [mPa.s] |             |             |
|---------------|---------------|-------------------|----------|----------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
|               |               | $t_0$             | $t_{30}$ | $t_{60}$ |                               | $\eta_0$                    | $\eta_{30}$ | $\eta_{60}$ |
| 35% PAA       | 4             | 917               | 917      | 917      | 1,092                         | 4468,8                      | 4468,8      | 4468,8      |
| PAA:PVA       | 4:6           | 5                 | 186      | 192,5    | 1,000                         | 8801,11                     | 9108,67     | 9203,31     |
|               | 5:5           | 5                 | 122      | 129,5    | 1,017                         | 5759,11                     | 6113,16     | 7033,67     |
|               | 6:4           | 5                 | 139,5    | 146      | 1,038                         | 6565,61                     | 6871,53     | 7012,73     |
|               | 7:3           | 4                 | 1061     | 1063     | 1,12                          | 5149,9                      | 5159,61     | 5169,32     |
|               | 8:2           | 5                 | 74       | 82,5     | 1,047                         | 3478,69                     | 3878,27     | 4056,9      |
| PAA + PEO [%] | 5             | 3                 | 1538     | 1561     | 1,067                         | 1335,9                      | 1355,87     | 1351,53     |
|               | 10            | 3                 | 1629     | 1646     | 1,067                         | 1416,14                     | 1430,92     | 1422,23     |
|               | 15            | 4                 | 305      | 310      | 1,052                         | 1493,77                     | 1518,26     | 1513,37     |
|               | 20            | 4                 | 316      | 320      | 1,055                         | 1548                        | 1567,6      | 1587,19     |
|               | 25            | 4                 | 330      | 337      | 1,062                         | 1615,07                     | 1649,33     | 1673,8      |
| PAA + Gly [%] | 5             | 3                 | 1426     | 1430     | 1,049                         | 1241,61                     | 1245,1      | 1232,04     |
|               | 10            | 3                 | 1368     | 1372     | 1,064                         | 1188,74                     | 1192,22     | 1181,79     |
|               | 15            | 5                 | 23       | 29       | 1,098                         | 1073,40                     | 1353,42     | 1260,08     |
|               | 20            | 5                 | 29       | 31       | 1,104                         | 1352,26                     | 1445,52     | 1398,88     |
|               | 25            | 3                 | 1355     | 1359     | 1,0418                        | 1181,15                     | 1184,63     | 994,6       |

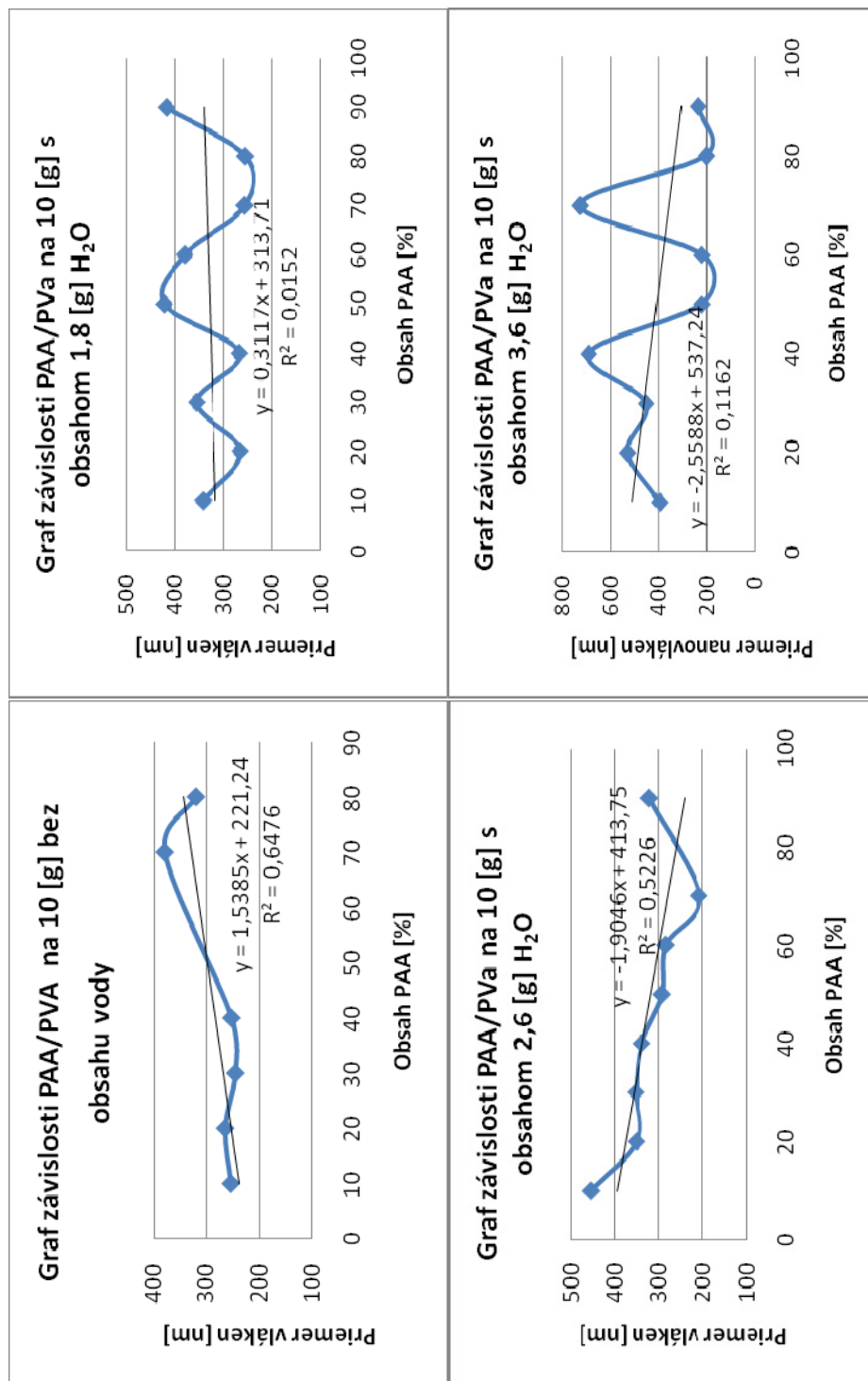
**Príloha 2** - Hodnoty skúšobných vzoriek PAA:PVA v závislosti na obsahu vody

*Tab. 1 Hodnoty obsahu sušín vo výsledných roztokoch PAA v zmesi s PVA, bez obsahu vody a s pridaním 1,8 ; 2,6 a 3,6 [g] H<sub>2</sub>O na 10 [g] roztoku.*

| Vzorka                        |     | P1  | P2          | P3          | P4          | P5          | P6          | P7          | P8          | P9          |
|-------------------------------|-----|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Zloženie roztoku/10 [g]       |     | PAA:PVA                                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                               |     | 9:1   | 8:2         | 7:3         | 6:4         | 5:5         | 4:6         | 3:7         | 2:8         | 1:9         |
| Obsah sušiny v roztoku [%]    | PAA | 95,16                                       | 89,75       | 83,62       | 76,64       | 68,63       | 59,32       | 48,39       | 35,3        | 19,55       |
|                               | PVA | 4,84  | 10,25       | 16,38       | 23,36       | 31,37       | 40,68       | 51,61       | 64,65       | 84,45       |
| Hmotnostné pomery sušín v [g] | PAA | <b>3,15</b>                                 | <b>2,8</b>  | <b>2,45</b> | <b>2,1</b>  | <b>1,75</b> | <b>1,4</b>  | <b>1,05</b> | <b>0,8</b>  | <b>0,35</b> |
|                               | PVA | <b>0,16</b>                                 | <b>0,32</b> | <b>0,48</b> | <b>0,64</b> | <b>0,8</b>  | <b>0,96</b> | <b>1,12</b> | <b>1,28</b> | <b>1,44</b> |
| Vzorka                        |     | P1  | P2          | P3          | P4          | P5          | P6          | P7          | P8          | P9          |
| Zloženie roztoku/10 [g]       |     | PAA:PVA po pridaní 1,8 [g] H <sub>2</sub> O |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                               |     | 9:1   | 8:2         | 7:3         | 6:4         | 5:5         | 4:6         | 3:7         | 2:8         | 1:9         |
| Hmotnostné pomery sušín v [g] | PAA | <b>2,67</b>                                 | <b>2,37</b> | <b>2,08</b> | <b>1,78</b> | <b>1,48</b> | <b>1,19</b> | <b>0,89</b> | <b>0,68</b> | <b>0,30</b> |
|                               | PVA | <b>0,14</b>                                 | <b>0,27</b> | <b>0,41</b> | <b>0,54</b> | <b>0,68</b> | <b>0,81</b> | <b>0,95</b> | <b>1,08</b> | <b>1,22</b> |
| Zloženie roztoku/10 [g]       |     | PAA:PVA po pridaní 2,6 [g] H <sub>2</sub> O |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                               |     | 9:1   | 8:2         | 7:3         | 6:4         | 5:5         | 4:6         | 3:7         | 2:8         | 1:9         |
| Hmotnostné pomery sušín v [g] | PAA | <b>2,5</b>                                  | <b>2,22</b> | <b>1,94</b> | <b>1,67</b> | <b>1,39</b> | <b>1,11</b> | <b>0,83</b> | <b>0,63</b> | <b>0,28</b> |
|                               | PVA | <b>0,13</b>                                 | <b>0,25</b> | <b>0,38</b> | <b>0,51</b> | <b>0,63</b> | <b>0,76</b> | <b>0,89</b> | <b>1,02</b> | <b>1,14</b> |
| Zloženie roztoku/10 [g]       |     | PAA:PVA po pridaní 3,6 [g] H <sub>2</sub> O |             |             |             |             |             |             |             |             |
|                               |     | 9:1   | 8:2         | 7:3         | 6:4         | 5:5         | 4:6         | 3:7         | 2:8         | 1:9         |
| Hmotnostné pomery sušín v [g] | PAA | <b>2,32</b>                                 | <b>2,06</b> | <b>1,80</b> | <b>1,54</b> | <b>1,29</b> | <b>1,03</b> | <b>0,77</b> | <b>0,59</b> | <b>0,26</b> |
|                               | PVA | <b>0,12</b>                                 | <b>0,24</b> | <b>0,35</b> | <b>0,47</b> | <b>0,59</b> | <b>0,71</b> | <b>0,82</b> | <b>0,94</b> | <b>1,06</b> |

*Tab. 2 Hodnoty zloženia roztokov s pridaním PEO a Gly*

| Zloženie roztokov/ 50 [g] PAA + 10 [g] H <sub>2</sub> O |      |                  |
|---|------|------------------|
|   |      | Obsah sušiny [g] |
| PAA   | 100% | 17,5             |
| PEO   | 5%   | 0,875            |
|   | 10%  | 1,75             |
|   | 15%  | 2,625            |
|   | 20%  | 3,5              |
|   | 25%  | 4,375            |
| Gly   | 5%   | 0,875            |
|   | 10%  | 1,75             |
|   | 15%  | 2,625            |
|   | 20%  | 3,5              |
|   | 25%  | 4,375            |



Obr. 1 Závislosť obsahu PAA/PVA a vody -1,8; 2,6 a 3,6 [g] v roztoku na priemere vlákna.

**Príloha 3 - Priemery nanovláken pred a po zosieťovaní***Tab. 1 Tabuľky a) a b) s hodnotami priemerov nanovláken pred zosieťovaním***a)**

| (i) | PAA:PVA |        |        |        |        | PAA + PEO |            |            |            |            |
|-----|---------|--------|--------|--------|--------|-----------|------------|------------|------------|------------|
|     | 4:6     | 5:5    | 6:4    | 7:3    | 8:2    | 5%<br>PEO | 10%<br>PEO | 15%<br>PEO | 20%<br>PEO | 25%<br>PEO |
| 1   | 295,38  | 392,04 | 186,82 | 245,77 | 275,39 | 289,65    | 202,34     | 238,85     | 256,46     | 256,46     |
| 2   | 421,73  | 483,98 | 259,07 | 302,12 | 207,25 | 302,12    | 389,46     | 303,23     | 377,21     | 366,38     |
| 3   | 649,22  | 439,65 | 345,64 | 188,6  | 345,64 | 146,55    | 415,32     | 295,38     | 348,54     | 518,13     |
| 4   | 404,68  | 303,23 | 238,85 | 213,63 | 385,13 | 151,06    | 311,96     | 202,34     | 129,53     | 497,65     |
| 5   | 421,73  | 382,51 | 440,41 | 373,63 | 186,82 | 151,06    | 270,47     | 197,3      | 388,6      | 289,65     |
| 6   | 452,44  | 259,07 | 233,16 | 336,79 | 208,87 | 360,84    | 382,51     | 222,86     | 409,62     | 362,69     |
| 7   | 385,13  | 514,23 | 259,07 | 173,79 | 186,82 | 244,4     | 173,79     | 313,03     | 579,29     | 392,04     |
| 8   | 385,13  | 510,96 | 238,85 | 382,51 | 202,34 | 286,15    | 382,51     | 428,83     | 260,36     | 106,82     |
| 9   | 459,07  | 275,39 | 238,85 | 453,18 | 244,4  | 208,87    | 275,39     | 222,86     | 231,72     | 424,9      |
| 10  | 793,02  | 377,21 | 286,15 | 197,3  | 302,12 | 311,96    | 151,06     | 441,18     | 359,91     | 207,25     |
| 11  | 370,93  | 604,8  | 266,73 | 165,88 | 244,4  | 266,73    | 186,82     | 219,83     | 289,65     | 238,85     |
| 12  | 388,6   | 348,54 | 260,36 | 155,44 | 231,72 | 295,38    | 197,3      | 233,16     | 255,15     | 336,79     |
| 13  | 660,49  | 352,37 | 313,03 | 188,6  | 256,46 | 546,5     | 238,85     | 345,64     | 245,77     | 414,51     |
| 14  | 337,78  | 510,3  | 289,65 | 264,2  | 324,61 | 233,16    | 316,23     | 231,72     | 434,28     | 467,04     |
| 15  | 366,38  | 534,08 | 336,79 | 183,19 | 316,23 | 303,23    | 366,38     | 302,12     | 244,4      | 443,45     |
| 16  | 259,07  | 373,63 | 284,97 | 266,73 | 289,65 | 146,55    | 264,2      | 221,35     | 531,56     | 234,6      |
| 17  | 347,58  | 809,35 | 219,83 | 186,82 | 345,64 | 259,07    | 266,73     | 208,87     | 360,84     | 213,63     |
| 18  | 377,21  | 327,7  | 255,15 | 181,35 | 244,4  | 197,3     | 151,06     | 275,39     | 388,6      | 521,36     |
| 19  | 370,93  | 421,73 | 208,87 | 295,38 | 461,26 | 266,73    | 208,87     | 554,43     | 186,82     | 222,86     |
| 20  | 316,23  | 445,72 | 362,69 | 222,86 | 256,46 | 173,79    | 139,51     | 550,78     | 234,6      | 245,77     |
| 21  | 337,78  | 417,73 | 213,63 | 467,04 | 244,4  | 208,87    | 270,47     | 320,45     | 188,6      | 244,4      |
| 22  | 424,9   | 424,9  | 295,38 | 183,19 | 275,39 | 244,4     | 289,65     | 233,16     | 231,72     | 255,15     |
| 23  | 336,79  | 352,37 | 275,39 | 181,35 | 264,2  | 244,4     | 173,79     | 188,6      | 245,77     | 255,15     |
| 24  | 414,51  | 311,96 | 222,86 | 208,87 | 289,65 | 202,34    | 213,63     | 186,82     | 315,17     | 303,23     |
| 25  | 363,62  | 403,01 | 345,64 | 202,34 | 388,6  | 316,23    | 183,19     | 188,6      | 183,19     | 286,15     |
| 26  | 385,13  | 405,5  | 259,07 | 336,79 | 279,02 | 183,19    | 183,19     | 197,3      | 521,36     | 289,65     |
| 27  | 329,74  | 421,73 | 266,73 | 173,79 | 424,9  | 183,19    | 259,07     | 452,44     | 414,51     | 452,44     |
| 28  | 403,01  | 388,6  | 295,38 | 188,6  | 366,38 | 157,58    | 221,35     | 289,65     | 284,97     | 463,43     |
| 29  | 311,96  | 404,68 | 245,77 | 259,07 | 183,19 | 155,44    | 336,79     | 417,73     | 208,87     | 340,75     |
| 30  | 463,43  | 359,91 | 213,63 | 188,6  | 245,77 | 222,86    | 234,6      | 219,83     | 417,73     | 488,81     |
| 31  | 615,8   | 403,01 | 259,07 | 202,34 | 255,15 | 245,77    | 202,34     | 163,85     | 197,3      | 394,6      |
| 32  | 377,21  | 337,78 | 197,3  | 222,86 | 264,2  | 340,75    | 238,85     | 337,78     | 516,19     | 639,85     |
| 33  | 336,79  | 377,21 | 340,75 | 554,43 | 238,85 | 106,82    | 146,55     | 208,87     | 264,2      | 352,37     |

|    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 34 | 440,41 | 316,23 | 264,2  | 208,87 | 310,88 | 151,06 | 155,44 | 165,88 | 260,36 | 385,13 |
| 35 | 295,38 | 604,8  | 311,96 | 208,87 | 336,79 | 146,55 | 186,82 | 202,34 | 202,34 | 238,85 |
| 36 | 829,42 | 316,23 | 213,63 | 165,88 | 370,93 | 155,44 | 188,6  | 183,19 | 427,26 | 186,82 |
| 37 | 452,44 | 329,74 | 157,58 | 165,88 | 202,34 | 115,86 | 244,4  | 129,53 | 234,6  | 238,85 |
| 38 | 329,74 | 368,2  | 183,19 | 238,85 | 231,72 | 289,65 | 259,07 | 157,58 | 377,21 | 329,74 |
| 39 | 404,68 | 714,67 | 213,63 | 221,35 | 197,3  | 336,79 | 534,08 | 173,79 | 279,02 | 554,43 |
| 40 | 359,91 | 602,58 | 233,16 | 231,72 | 222,86 | 231,72 | 345,64 | 202,34 | 234,6  | 441,18 |
| 41 | 336,79 | 337,78 | 293,1  | 348,54 | 219,83 | 129,53 | 295,38 | 155,44 | 132,1  | 188,6  |
| 42 | 395,45 |        | 359,91 | 359,91 | 244,4  | 336,79 | 183,19 | 221,35 | 270,47 | 115,86 |
| 43 | 311,96 |        | 428,83 | 284,97 | 347,58 | 315,17 | 219,83 | 245,77 | 155,44 | 259,07 |
| 44 | 336,79 |        | 303,23 | 231,72 | 231,72 | 188,6  | 165,88 | 165,88 | 208,87 | 528,4  |
| 45 | 293,1  |        | 231,72 | 221,35 | 255,15 | 163,85 | 188,6  | 264,2  | 208,87 | 637,22 |
| 46 | 428,83 |        | 340,75 | 165,88 | 213,63 | 129,53 | 165,88 | 115,86 | 186,82 | 531,56 |
| 47 | 402,18 |        | 245,77 | 458,34 | 295,38 | 183,19 | 320,45 | 231,72 | 181,35 | 208,87 |
| 48 | 434,28 |        | 234,6  | 244,4  | 244,4  | 181,35 | 259,07 | 208,87 | 331,77 | 183,19 |
| 49 | 491,55 |        | 559,25 | 352,37 | 221,35 | 173,79 | 181,35 | 295,38 | 366,38 | 219,83 |
| 50 | 389,46 |        | 234,6  | 639,85 | 279,02 | 181,35 | 260,36 | 256,46 |        | 533,45 |
| 51 | 336,79 |        | 233,16 | 207,25 | 244,4  | 173,79 | 245,77 | 280,22 |        | 163,85 |
| 52 | 293,1  |        | 347,58 | 244,4  | 231,72 | 238,85 | 275,39 | 197,3  |        | 157,58 |
| 53 | 377,21 |        | 222,86 | 259,07 | 418,54 | 388,6  | 310,88 | 219,83 |        | 360,84 |
| 54 | 725,39 |        | 284,97 | 256,46 | 259,07 | 238,85 | 222,86 | 157,58 |        |        |
| 55 |        |        | 264,2  | 231,72 | 275,39 | 368,2  | 568,18 | 266,73 |        |        |
| 56 |        |        | 233,16 | 231,72 | 453,18 | 336,79 | 469,19 | 259,07 |        |        |
| 57 |        |        | 337,78 | 311,96 | 275,39 | 202,34 | 544,66 | 266,73 |        |        |
| 58 |        |        | 295,38 | 202,34 | 238,85 | 238,85 | 264,2  | 256,46 |        |        |
| 59 |        |        | 202,34 | 219,83 | 270,47 | 233,16 | 280,22 | 303,23 |        |        |
| 60 |        |        | 245,77 | 231,72 | 255,15 | 165,88 | 238,85 | 264,2  |        |        |
| 61 |        |        | 208,87 | 151,06 | 231,72 | 183,19 | 234,6  | 208,87 |        |        |
| 62 |        |        | 315,17 | 208,87 | 238,85 | 238,85 | 234,6  | 132,1  |        |        |
| 63 |        |        | 208,87 | 231,72 | 340,75 | 197,3  | 181,35 | 255,15 |        |        |
| 64 |        |        | 244,4  | 259,07 | 213,63 | 181,35 | 238,85 | 231,72 |        |        |
| 65 |        |        | 352,37 | 213,63 | 264,2  | 207,25 | 165,88 | 183,19 |        |        |
| 66 |        |        | 284,97 | 362,69 | 284,97 | 173,79 | 146,55 | 331,77 |        |        |
| 67 |        |        | 568,18 | 208,87 | 163,85 | 221,35 | 183,19 | 163,85 |        |        |
| 68 |        |        | 266,73 | 222,86 | 208,87 | 222,86 | 289,65 | 231,72 |        |        |
| 69 |        |        | 295,38 | 245,77 | 219,83 | 165,88 | 320,45 | 165,88 |        |        |
| 70 |        |        | 289,65 | 266,73 | 259,07 | 213,63 | 165,88 | 259,07 |        |        |
| 71 |        |        | 279,02 | 197,3  | 315,17 | 233,16 | 259,07 |        |        |        |
| 72 |        |        | 244,4  | 520,72 | 222,86 | 173,79 | 183,19 |        |        |        |
| 73 |        |        | 208,87 | 370,93 | 255,15 | 280,22 | 231,72 |        |        |        |
| 74 |        |        | 337,78 | 303,23 | 295,38 | 316,23 | 295,38 |        |        |        |
| 75 |        |        | 197,3  | 417,73 | 202,34 | 155,44 | 544,04 |        |        |        |

|                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 76                |        |        | 315,17 | 352,37 | 286,15 | 173,79 | 313,03 |        |        |        |
| 77                |        |        | 245,77 | 280,22 | 275,39 | 139,51 | 163,85 |        |        |        |
| 78                |        |        | 244,4  | 222,86 | 259,07 | 303,23 | 331,77 |        |        |        |
| 79                |        |        | 316,23 | 208,87 | 197,3  | 181,35 | 295,38 |        |        |        |
| 80                |        |        | 362,69 | 208,87 | 208,87 | 255,15 | 183,19 |        |        |        |
| 81                |        |        | 289,65 | 331,77 | 208,87 | 186,82 | 402,18 |        |        |        |
| 82                |        |        | 221,35 | 221,35 | 394,6  | 208,87 | 186,82 |        |        |        |
| 83                |        |        | 259,07 | 244,4  | 231,72 | 275,39 | 238,85 |        |        |        |
| 84                |        |        | 208,87 | 337,78 | 289,65 | 340,75 | 260,36 |        |        |        |
| 85                |        |        | 238,85 | 394,6  | 222,86 | 151,06 | 197,3  |        |        |        |
| 86                |        |        | 219,83 | 311,96 | 260,36 | 188,6  | 213,63 |        |        |        |
| 87                |        |        | 428,83 | 336,79 | 259,07 | 188,6  | 231,72 |        |        |        |
| 88                |        |        | 324,61 | 238,85 | 289,65 | 208,87 | 202,34 |        |        |        |
| 89                |        |        | 259,07 | 259,07 | 238,85 | 197,3  | 402,18 |        |        |        |
| 90                |        |        | 310,88 | 302,12 | 183,19 | 208,87 | 415,32 |        |        |        |
| 91                |        |        | 238,85 | 255,15 | 442,69 | 275,39 | 245,77 |        |        |        |
| 92                |        |        |        | 389,46 | 208,87 | 295,38 | 280,22 |        |        |        |
| 93                |        |        |        | 345,64 | 260,36 | 183,19 | 360,84 |        |        |        |
| 94                |        |        |        | 188,6  | 221,35 | 221,35 | 259,07 |        |        |        |
| 95                |        |        |        | 234,6  | 234,6  | 202,34 | 219,83 |        |        |        |
| 96                |        |        |        | 255,15 | 208,87 | 255,15 | 303,23 |        |        |        |
| 97                |        |        |        | 256,46 | 208,87 | 280,22 | 238,85 |        |        |        |
| 98                |        |        |        | 222,86 | 219,83 | 186,82 | 197,3  |        |        |        |
| 99                |        |        |        | 188,6  | 370,93 | 345,64 | 289,65 |        |        |        |
| 100               |        |        |        | 219,83 | 255,15 | 197,3  | 208,87 |        |        |        |
| $\bar{d}$<br>[nm] | 411,63 | 421,1  | 277,12 | 264,82 | 267,37 | 227,64 | 261,34 | 248,92 | 297,14 | 339,44 |
| $s$<br>[nm]       | 119,92 | 114,54 | 70,06  | 89,98  | 63,2   | 71,2   | 91,21  | 87,39  | 108,15 | 133,79 |
| $v$<br>[%]        | 29,13  | 27,20  | 25,28  | 33,97  | 23,63  | 31,27  | 34,9   | 35,1   | 36,39  | 39,41  |
| min<br>[nm]       | 259,07 | 259,07 | 157,58 | 151,06 | 163,85 | 106,82 | 139,51 | 115,86 | 129,53 | 106,82 |
| max<br>[nm]       | 829,42 | 809,35 | 568,18 | 639,85 | 461,26 | 546,5  | 568,18 | 554,43 | 579,29 | 639,85 |

b)

| (i) | PAA + Gly |         |         |
|-----|-----------|---------|---------|
|     | 5% Gly    | 10% Gly | 25% Gly |
| 1   | 234,6     | 139,51  | 275,39  |
| 2   | 151,06    | 238,85  | 207,25  |
| 3   | 202,34    | 173,79  | 345,64  |
| 4   | 186,82    | 151,06  | 195,13  |
| 5   | 208,87    | 197,3   | 186,82  |
| 6   | 186,82    | 284,97  | 208,87  |
| 7   | 183,19    | 368,2   | 186,82  |
| 8   | 129,53    | 157,58  | 202,34  |
| 9   | 244,4     | 129,53  | 244,4   |
| 10  | 155,44    | 213,63  | 302,12  |
| 11  | 202,34    | 151,06  | 244,4   |
| 12  | 266,73    | 280,22  | 231,72  |
| 13  | 347,58    | 289,65  | 256,46  |
| 14  | 115,86    | 151,06  | 324,61  |
| 15  | 186,82    | 219,83  | 316,23  |
| 16  | 207,25    | 289,65  | 289,65  |
| 17  | 132,1     | 231,72  | 345,64  |
| 18  | 270,47    | 157,58  | 244,4   |
| 19  | 197,3     | 360,84  | 361,26  |
| 20  | 155,44    | 222,86  | 256,46  |
| 21  | 197,3     | 238,85  | 244,4   |
| 22  | 221,35    | 173,79  | 275,39  |
| 23  | 129,53    | 181,35  | 264,2   |
| 24  | 129,53    | 409,62  | 289,65  |
| 25  | 208,87    | 208,87  | 388,6   |
| 26  | 173,79    | 320,45  | 279,02  |
| 27  | 173,79    | 222,86  | 424,9   |
| 28  | 327,7     | 163,85  | 366,38  |
| 29  | 165,88    | 155,44  | 183,19  |
| 30  | 151,06    | 183,19  | 245,77  |
| 31  | 197,3     | 331,77  | 255,15  |
| 32  | 81,92     | 183,19  | 264,2   |
| 33  | 186,82    | 173,79  | 238,85  |
| 34  | 106,82    | 173,79  | 310,88  |



|    |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|
| 35 | 139,51 | 173,79 | 236,79 |
| 36 | 139,51 | 311,96 | 370,93 |
| 37 | 183,19 | 129,53 | 202,34 |
| 38 | 93,41  | 173,79 | 231,72 |
| 39 | 173,79 | 163,85 | 197,3  |
| 40 | 151,06 | 163,85 | 222,86 |
| 41 | 163,85 | 219,83 | 219,83 |
| 42 | 139,51 | 146,55 | 244,4  |
| 43 | 129,53 | 129,53 | 347,58 |
| 44 | 106,82 | 340,75 | 231,72 |
| 45 | 163,85 | 523,93 | 255,15 |
| 46 | 238,85 | 188,6  | 213,63 |
| 47 | 183,19 | 260,36 | 211,38 |
| 48 | 197,3  | 286,15 | 244,4  |
| 49 | 151,06 | 219,83 | 221,35 |
| 50 | 129,53 | 244,4  | 200,02 |
| 51 | 139,51 | 284,97 | 244,4  |
| 52 | 165,88 | 238,85 | 231,72 |
| 53 | 139,51 | 151,06 | 318,54 |
| 54 | 208,87 | 129,53 | 259,07 |
| 55 | 173,79 | 202,34 | 275,39 |
| 56 | 165,88 | 146,55 | 402,18 |
| 57 | 173,79 | 115,86 | 275,39 |
| 58 | 132,1  | 347,58 | 238,85 |
| 59 | 186,82 | 219,83 | 270,47 |
| 60 | 115,86 | 129,53 | 255,15 |
| 61 | 115,86 | 157,58 | 198,72 |
| 62 | 188,6  | 219,83 | 238,85 |
| 63 | 165,88 | 208,87 | 340,75 |
| 64 | 151,06 | 275,39 | 213,63 |
| 65 | 221,35 | 183,19 | 264,2  |
| 66 | 303,23 | 238,85 | 284,97 |
| 67 | 165,88 | 280,22 | 163,85 |
| 68 | 173,79 | 157,58 | 208,87 |
| 69 | 202,34 | 260,36 | 219,83 |
| 70 | 132,1  | 165,88 | 202,07 |
| 71 | 238,85 | 183,19 | 315,17 |
| 72 | 151,06 | 207,25 | 222,86 |
| 73 | 181,35 | 151,06 | 201,15 |
| 74 | 157,58 | 208,87 | 295,38 |
| 75 | 221,35 | 151,06 | 202,34 |
| 76 | 151,06 | 183,19 | 286,15 |

|                   |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|
| 77                | 202,34 | 245,77 | 275,39 |
| 78                | 208,87 | 221,35 | 259,07 |
| 79                | 173,79 | 173,79 | 197,3  |
| 80                | 139,51 | 183,19 | 208,87 |
| 81                | 151,06 | 186,82 | 209,87 |
| 82                | 103,63 | 238,85 | 394,6  |
| 83                | 245,77 | 129,53 | 231,72 |
| 84                | 295,38 | 146,55 | 203,65 |
| 85                | 183,19 | 157,58 | 222,86 |
| 86                | 151,06 | 132,1  | 260,36 |
| 87                | 389,46 | 188,6  | 279,87 |
| 88                | 139,51 | 202,34 | 212,65 |
| 89                | 163,85 | 157,58 | 238,85 |
| 90                | 157,58 | 173,79 | 183,19 |
| 91                | 197,3  | 202,34 | 231,69 |
| 92                | 208,87 | 197,3  | 215,97 |
| 93                | 244,4  | 139,51 | 293,36 |
| 94                | 173,79 | 103,63 | 221,95 |
| 95                | 213,63 | 320,45 | 234,6  |
| 96                | 151,06 | 165,88 | 208,87 |
| 97                | 151,06 | 336,79 | 210,87 |
| 98                | 183,19 | 303,23 | 219,83 |
| 99                | 151,06 | 238,85 | 370,93 |
| 100               | 188,6  | 345,64 | 255,15 |
| $\bar{d}$<br>[nm] | 179,92 | 212,96 | 255,79 |
| s<br>[nm]         | 51,68  | 72,61  | 55,17  |
| v<br>[%]          | 28,72  | 34,09  | 21,56  |
| min<br>[nm]       | 81,92  | 103,63 | 163,85 |
| max<br>[nm]       | 389,46 | 523,93 | 424,9  |

Tab. 2 Tabuľky **a)** a **b)** s hodnotami priemerov nanovláken po zosieťovaní**a)**

| (i) | PAA:PVA |        |         |     |     | PAA + PEO |            |            |            |            |
|-----|---------|--------|---------|-----|-----|-----------|------------|------------|------------|------------|
|     | 4:6     | 5:5    | 6:4     | 7:3 | 8:2 | 5%<br>PEO | 10%<br>PEO | 15%<br>PEO | 20%<br>PEO | 25%<br>PEO |
| 1   | 585.83  | 467.98 | 480.65  | 366 | 478 | 607.48    | 708.44     | 670.98     | 734.02     | 1358.37    |
| 2   | 451.27  | 430.06 | 508.98  | 364 | 447 | 438.06    | 708.44     | 1152.61    | 884.50     | 1308.55    |
| 3   | 465.83  | 446.06 | 475.06  | 328 | 303 | 500.94    | 654.28     | 876.12     | 1268.46    | 1460.48    |
| 4   | 475.06  | 569.06 | 408.56  | 385 | 361 | 485.98    | 543.35     | 1288.66    | 708.44     | 1048.67    |
| 5   | 467.98  | 387.60 | 522.58  | 371 | 389 | 364.49    | 768.41     | 1168.51    | 601.37     | 1152.61    |
| 6   | 451.27  | 430.06 | 650.63  | 395 | 290 | 543.35    | 945.02     | 1001.88    | 815.02     | 500.94     |
| 7   | 749.35  | 501.72 | 423.80  | 434 | 312 | 384.20    | 515.46     | 1146.19    | 863.39     | 500.94     |
| 8   | 420.64  | 570.82 | 440.04  | 313 | 396 | 515.46    | 576.31     | 1522.34    | 792.06     | 810.48     |
| 9   | 594.88  | 462.24 | 645.99  | 406 | 316 | 354.22    | 576.31     | 1277.15    | 734.02     | 654.28     |
| 10  | 516.80  | 347.64 | 460.06  | 383 | 259 | 343.64    | 607.48     | 1005.56    | 734.02     | 1202.75    |
| 11  | 493.67  | 490.28 | 451.27  | 328 | 313 | 462.64    | 773.20     | 1385.27    | 625.44     | 429.55     |
| 12  | 532.70  | 507.67 | 311.15  | 349 | 311 | 601.37    | 960.51     | 1086.69    | 739.03     | 692.63     |
| 13  | 493.67  | 658.79 | 670.84  | 320 | 383 | 429.55    | 773.20     | 810.48     | 576.31     | 773.20     |
| 14  | 652.17  | 564.35 | 514.85  | 371 | 285 | 271.67    | 1001.88    | 1288.66    | 945.02     | 515.46     |
| 15  | 439.28  | 961.64 | 552.39  | 352 | 389 | 384.20    | 929.27     | 960.51     | 601.37     | 384.20     |
| 16  | 539.55  | 330.91 | 482.73  | 519 | 341 | 343.64    | 619.51     | 773.20     | 485.98     | 670.98     |
| 17  | 647.54  | 537.69 | 654.21  | 316 | 360 | 429.55    | 1030.93    | 960.51     | 739.03     | 485.98     |
| 18  | 952.92  | 394.43 | 508.98  | 295 | 311 | 500.94    | 625.44     | 1034.50    | 522.57     | 438.06     |
| 19  | 614.20  | 384.14 | 1476.49 | 352 | 293 | 309.76    | 708.44     | 1168.51    | 670.98     | 429.55     |
| 20  | 1059.43 | 384.14 | 717.96  | 371 | 295 | 438.06    | 810.48     | 1048.67    | 692.63     | 768.41     |
| 21  | 731.32  | 585.83 | 403.63  | 325 | 313 | 438.06    | 692.63     | 1205.81    | 462.64     | 925.29     |
| 22  | 451.27  | 723.98 | 408.56  | 443 | 330 | 429.55    | 876.12     | 1076.46    | 692.63     | 257.73     |
| 23  | 358.98  | 471.53 | 956.42  | 364 | 443 | 462.64    | 773.20     | 913.24     | 429.55     | 384.20     |
| 24  | 493.67  | 589.24 | 339.87  | 415 | 364 | 429.55    | 960.51     | 913.24     | 462.64     | 1116.84    |
| 25  | 426.16  | 465.83 | 439.28  | 518 | 239 | 576.31    | 739.03     | 859.11     | 576.31     | 815.02     |
| 26  | 603.24  | 408.56 | 670.34  | 346 | 352 | 429.55    | 859.11     | 1460.48    | 945.02     | 810.48     |
| 27  | 537.69  | 426.16 | 433.15  | 337 | 410 | 515.46    | 1005.56    | 876.12     | 692.63     | 1168.51    |
| 28  | 530.19  | 532.70 | 567.30  | 402 | 330 | 309.76    | 734.02     | 792.06     | 692.63     | 1034.50    |
| 29  | 416.65  | 516.80 | 471.53  | 418 | 371 | 384.20    | 773.20     | 1202.75    | 601.37     | 1548.78    |
| 30  | 511.60  | 335.92 | 330.91  | 337 | 363 | 309.76    | 792.06     | 1116.84    | 979.53     | 1288.66    |
| 31  | 620.15  | 759.97 | 420.64  | 338 | 431 | 384.20    | 601.37     | 913.24     | 692.63     | 960.51     |
| 32  | 860.51  | 311.15 | 457.15  | 302 | 295 | 309.76    | 773.20     | 1116.84    | 607.48     | 846.12     |
| 33  | 487.54  | 476.46 | 439.28  | 295 | 402 | 257.73    | 846.12     | 1086.69    | 654.28     | 773.20     |
| 34  | 440.04  | 749.80 | 408.56  | 311 | 368 | 543.35    | 607.48     | 1005.56    | 654.28     | 429.55     |
| 35  | 365.43  | 490.28 | 401.14  | 338 | 328 | 309.76    | 739.03     | 1214.96    | 619.51     | 485.98     |
| 36  | 516.80  | 358.98 | 301.34  | 371 | 303 | 271.67    | 670.98     | 1034.50    | 654.28     | 384.20     |
| 37  | 387.60  | 391.03 | 367.25  | 255 | 295 | 462.64    | 607.48     | 1030.93    | 687.29     | 607.48     |

|    |         |         |        |     |     |        |         |         |        |         |
|----|---------|---------|--------|-----|-----|--------|---------|---------|--------|---------|
| 38 | 414.24  | 648.06  | 497.04 | 377 | 403 | 271.67 | 500.94  | 913.24  | 576.31 | 271.67  |
| 39 | 497.04  | 493.67  | 507.67 | 352 | 295 | 429.55 | 550.10  | 979.53  | 543.35 | 485.98  |
| 40 | 1295.09 | 369.97  | 384.14 | 311 | 395 | 500.94 | 810.48  | 925.29  | 601.37 | 792.06  |
| 41 | 475.06  | 566.71  | 384.14 | 325 | 267 | 462.64 | 607.48  | 1205.81 | 692.63 | 1288.66 |
| 42 | 852.32  | 676.29  | 347.64 | 337 | 264 | 429.55 | 859.11  | 692.63  | 739.03 | 550.10  |
| 43 | 775.62  | 403.63  | 740.39 | 363 | 290 | 271.67 | 768.41  | 1288.66 | 692.63 | 271.67  |
| 44 | 284.24  | 639.24  | 395.27 | 478 | 279 | 343.64 | 777.95  | 1483.05 | 768.41 | 768.41  |
| 45 | 452.01  | 416.65  | 639.24 | 293 | 280 | 500.94 | 708.44  | 979.53  | 739.03 | 1120.14 |
| 46 | 460.06  | 369.97  | 438.52 | 303 | 280 | 354.22 | 792.06  | 1168.51 | 948.91 | 777.95  |
| 47 | 609.84  | 339.87  | 705.29 | 330 | 406 | 500.94 | 619.51  | 1120.14 | 687.29 | 792.06  |
| 48 | 475.06  | 497.04  | 501.72 | 303 | 280 | 343.64 | 576.31  | 1377.25 | 670.98 | 692.63  |
| 49 | 501.72  | 511.60  | 490.96 | 325 | 220 | 384.20 | 625.44  | 929.27  | 773.20 | 429.55  |
| 50 | 645.99  | 344.75  | 388.46 | 270 | 337 | 354.22 | 979.53  | 971.97  | 768.41 | 1230.05 |
| 51 | 416.65  | 376.23  | 208.33 | 630 | 316 | 438.06 | 792.06  | 1100.19 | 309.76 | 364.49  |
| 52 | 671.83  | 460.06  | 220.78 | 441 | 374 | 354.22 | 692.63  | 1344.71 | 462.64 | 354.22  |
| 53 | 457.15  | 446.06  | 527.03 | 544 | 402 | 257.73 | 438.06  | 1045.15 | 773.20 | 309.76  |
| 54 | 451.27  | 440.04  |        | 406 | 395 | 462.64 | 859.11  | 925.29  | 670.98 | 522.57  |
| 55 |         | 620.15  |        | 325 | 415 | 429.55 | 913.24  | 1460.48 | 654.28 | 1030.93 |
| 56 |         | 465.12  |        | 280 | 396 | 343.64 | 792.06  | 1155.81 | 768.41 | 884.50  |
| 57 |         | 471.53  |        | 377 | 325 | 429.55 | 960.51  | 1314.18 | 692.63 | 429.55  |
| 58 |         | 714.69  |        | 313 | 440 | 462.64 | 429.55  | 1116.84 | 384.20 | 343.64  |
| 59 |         | 465.83  |        | 447 | 293 | 309.76 | 960.51  | 979.53  | 768.41 | 257.73  |
| 60 |         | 1079.41 |        | 395 | 313 | 309.76 | 654.28  | 1100.19 | 601.37 | 500.94  |
| 61 |         | 414.24  |        | 352 | 478 | 515.46 | 619.51  | 1277.15 | 687.29 | 1048.67 |
| 62 |         | 759.97  |        | 320 | 295 | 462.64 | 884.50  | 896.93  | 846.12 | 884.50  |
| 63 |         | 465.83  |        | 443 | 371 | 429.55 | 1005.56 | 543.35  | 859.11 | 522.57  |
| 64 |         | 381.52  |        | 346 | 246 | 438.06 | 739.03  | 1034.50 | 859.11 |         |
| 65 |         | 508.98  |        | 332 | 383 | 576.31 | 859.11  | 1308.55 | 522.57 |         |
| 66 |         | 710.95  |        | 383 | 233 | 462.64 | 625.44  | 1038.06 | 576.31 |         |
| 67 |         | 564.35  |        | 360 | 295 | 515.46 | 876.12  | 1168.51 | 515.46 |         |
| 68 |         | 433.15  |        | 285 | 316 | 515.46 | 1045.15 | 945.02  | 607.48 |         |
| 69 |         | 641.85  |        | 368 | 422 | 543.35 | 863.39  | 945.02  | 792.06 |         |
| 70 |         | 231.12  |        | 466 | 275 | 438.06 | 876.12  | 1129.98 |        |         |
| 71 |         |         |        |     | 591 | 429.55 | 625.44  | 792.06  |        |         |
| 72 |         |         |        |     | 275 | 485.98 | 815.02  | 429.55  |        |         |
| 73 |         |         |        |     | 270 | 576.31 | 708.44  | 1579.45 |        |         |
| 74 |         |         |        |     | 352 | 607.48 | 1030.93 |         |        |         |
| 75 |         |         |        |     | 267 | 384.20 | 522.57  |         |        |         |
| 76 |         |         |        |     | 352 | 438.06 | 708.44  |         |        |         |
| 77 |         |         |        |     | 295 | 601.37 | 429.55  |         |        |         |
| 78 |         |         |        |     | 280 | 429.55 | 708.44  |         |        |         |
| 79 |         |         |        |     | 239 | 515.46 | 739.03  |         |        |         |

|                   |         |         |         |        |        |        |         |         |         |         |
|-------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 80                |         |         |         |        | 364    | 576.31 | 1152.61 |         |         |         |
| 81                |         |         |         |        | 303    | 543.35 | 625.44  |         |         |         |
| 82                |         |         |         |        | 337    | 438.06 | 728.98  |         |         |         |
| 83                |         |         |         |        | 320    | 438.06 | 619.51  |         |         |         |
| 84                |         |         |         |        | 315    | 384.20 | 522.57  |         |         |         |
| 85                |         |         |         |        | 270    | 692.63 | 687.29  |         |         |         |
| 86                |         |         |         |        | 220    | 543.35 | 859.11  |         |         |         |
| 87                |         |         |         |        | 315    | 384.20 | 550.10  |         |         |         |
| 88                |         |         |         |        | 349    | 271.67 | 550.10  |         |         |         |
| 89                |         |         |         |        | 267    | 309.76 | 815.02  |         |         |         |
| 90                |         |         |         |        | 396    | 462.64 | 601.37  |         |         |         |
| 91                |         |         |         |        | 295    | 576.31 | 948.91  |         |         |         |
| 92                |         |         |         |        | 346    | 515.46 | 543.35  |         |         |         |
| 93                |         |         |         |        | 352    | 429.55 | 777.95  |         |         |         |
| 94                |         |         |         |        | 348    | 429.55 | 692.63  |         |         |         |
| 95                |         |         |         |        | 220    | 429.55 | 815.02  |         |         |         |
| 96                |         |         |         |        | 275    | 309.76 | 810.48  |         |         |         |
| 97                |         |         |         |        | 514    | 354.22 | 876.12  |         |         |         |
| 98                |         |         |         |        | 316    | 384.20 | 607.48  |         |         |         |
| 99                |         |         |         |        | 270    | 429.55 | 462.64  |         |         |         |
| 100               |         |         |         |        | 290    | 515.46 | 1076.46 |         |         |         |
| $\bar{d}$<br>[nm] | 557,00  | 505,00  | 500,95  | 365,90 | 333,51 | 432,61 | 745,60  | 1070,02 | 686,83  | 735,68  |
| s<br>[nm]         | 179,79  | 147,00  | 190,85  | 66,66  | 65,88  | 93,02  | 158,61  | 216,53  | 151,59  | 337,30  |
| v<br>[%]          | 32,27   | 29,1    | 38,09   | 18,21  | 19,75  | 21,5   | 21,27   | 20,23   | 22,07   | 45,84   |
| min<br>[nm]       | 284,24  | 231,12  | 208,33  | 255,00 | 220,00 | 257,73 | 429,55  | 429,55  | 309,76  | 257,73  |
| max<br>[nm]       | 1295,09 | 1079,41 | 1476,49 | 630,00 | 591,00 | 692,63 | 1152,61 | 1579,45 | 1268,46 | 1548,78 |

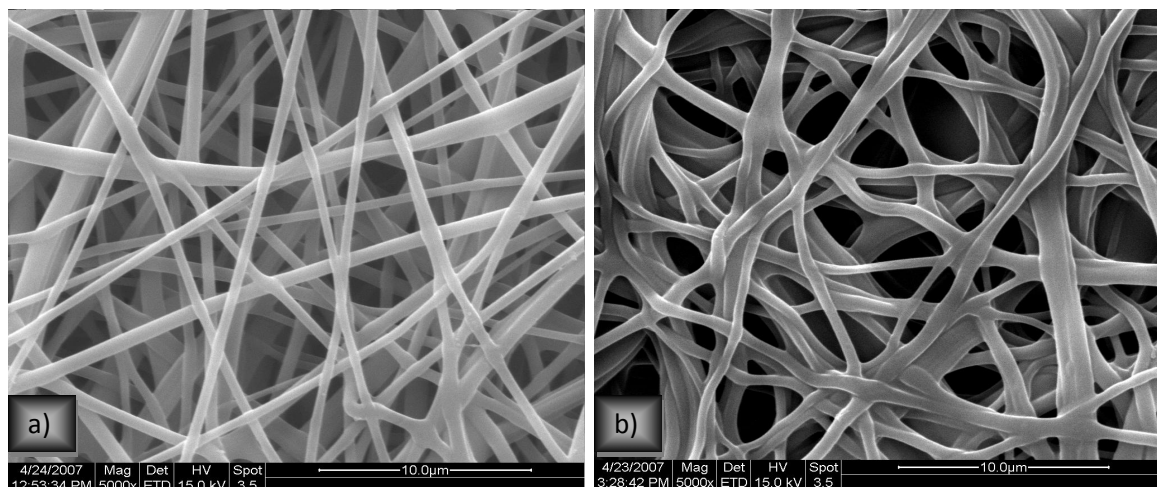
b)

| (i) | PAA + Gly |     |        |                |        |
|-----|-----------|-----|--------|----------------|--------|
|     | 5% Gly    |     |        |                |        |
|     |           | (i) |        | (i)            |        |
| 1   | 576.31    | 37  | 515.46 | 73             | 777.95 |
| 2   | 354.22    | 38  | 692.63 | 74             | 728.98 |
| 3   | 550.10    | 39  | 429.55 | 75             | 670.98 |
| 4   | 777.95    | 40  | 364.49 | 76             | 429.55 |
| 5   | 687.29    | 41  | 364.49 | 77             | 192.10 |
| 6   | 462.64    | 42  | 429.55 | 78             | 354.22 |
| 7   | 364.49    | 43  | 543.35 | 79             | 271.67 |
| 8   | 429.55    | 44  | 429.55 | 80             | 429.55 |
| 9   | 462.64    | 45  | 670.98 | 81             | 619.51 |
| 10  | 850.47    | 46  | 462.64 | 82             | 438.06 |
| 11  | 515.46    | 47  | 543.35 | 83             | 384.20 |
| 12  | 438.06    | 48  | 515.46 | 84             | 500.94 |
| 13  | 364.49    | 49  | 543.35 | 85             | 576.31 |
| 14  | 462.64    | 50  | 462.64 | 86             | 343.64 |
| 15  | 515.46    | 51  | 550.10 | 87             | 354.22 |
| 16  | 692.63    | 52  | 670.98 | 88             | 601.37 |
| 17  | 485.98    | 53  | 384.20 | 89             | 515.46 |
| 18  | 384.20    | 54  | 364.49 | 90             | 792.06 |
| 19  | 543.35    | 55  | 462.64 | 91             | 309.76 |
| 20  | 462.64    | 56  | 438.06 | 92             | 343.64 |
| 21  | 309.76    | 57  | 485.98 | 93             | 384.20 |
| 22  | 619.51    | 58  | 619.51 | 94             | 429.55 |
| 23  | 945.02    | 59  | 687.29 | 95             | 257.73 |
| 24  | 607.48    | 60  | 687.29 | 96             | 515.46 |
| 25  | 500.94    | 61  | 364.49 | 97             | 429.55 |
| 26  | 728.98    | 62  | 354.22 | 98             | 550.10 |
| 27  | 876.12    | 63  | 462.64 | 99             | 462,64 |
| 28  | 500.94    | 64  | 576.31 | 100            | 601,37 |
| 29  | 354.22    | 65  | 687.29 | $\bar{d}$ [nm] | 507,14 |
| 30  | 543.35    | 66  | 550.10 | s [nm]         | 144,62 |
| 31  | 462.64    | 67  | 576.31 | v [%]          | 28,51  |
| 32  | 462.64    | 68  | 309.76 | min [nm]       | 192,10 |
| 33  | 384.20    | 69  | 500.94 | max [nm]       | 945,02 |
| 34  | 692.63    | 70  | 728.98 |                |        |
| 35  | 500.94    | 71  | 777.95 |                |        |
| 36  | 462.64    | 72  | 728.98 |                |        |

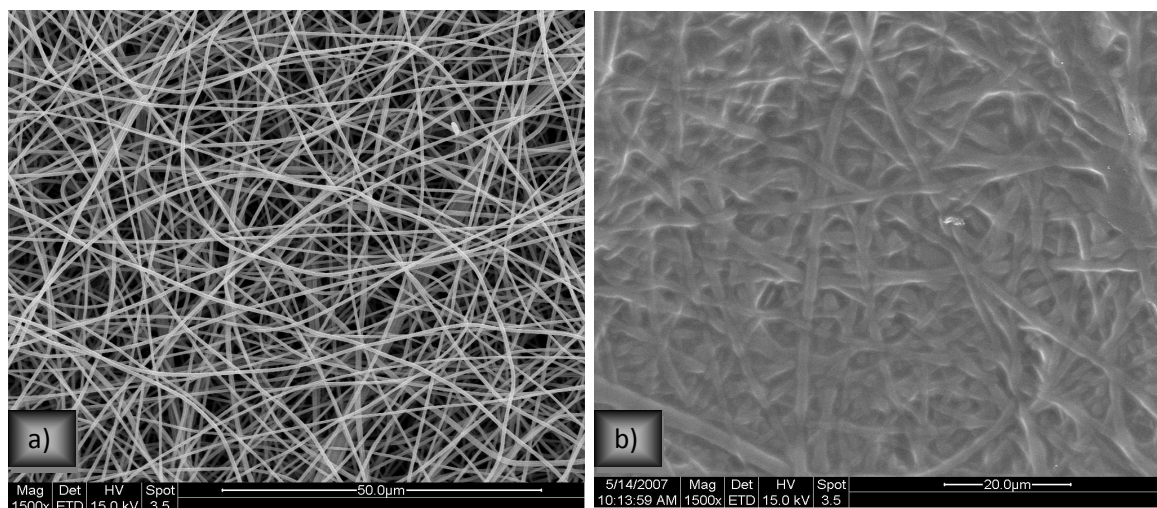
**Príloha 4 - Hodnoty pre výpočet výkonu zvlákňovacieho zariadenia***Tab. 1 Hodnoty plošných hmotností nanovláknenných vrstiev a výkonu zariadenia**Nanospider*

| Vzorky  | PAA v zmesi s PVA |          |          |          |          | PAA v zmesi s POE |      |      |      |      | PAA v zmesi s Gly |      |      |
|---|-------------------|----------|----------|----------|----------|-------------------|------|------|------|------|-------------------|------|------|
|   | 4:6               | 5:5      | 6:4      | 7:3      | 8:2      | 5%                | 10 % | 15 % | 20 % | 25 % | 5 %               | 10 % | 25 % |
| <b>m<sub>PL</sub></b><br><b>[g/m<sup>2</sup>]</b> | 9,1               | 3,9      | 2,8      | 7,7      | 6,2      | 6,3               | 8,2  | 5,7  | 7,5  | 3,2  | 5,0               | 8,3  | 7,8  |
| <b>Výkon</b><br><b>[g/m.min]</b>                  | 0,9<br>1          | 0,3<br>9 | 0,2<br>8 | 0,7<br>7 | 0,6<br>2 | 0,6<br>3          | 0,82 | 0,57 | 0,75 | 0,32 | 0,5               | 0,83 | 0,78 |

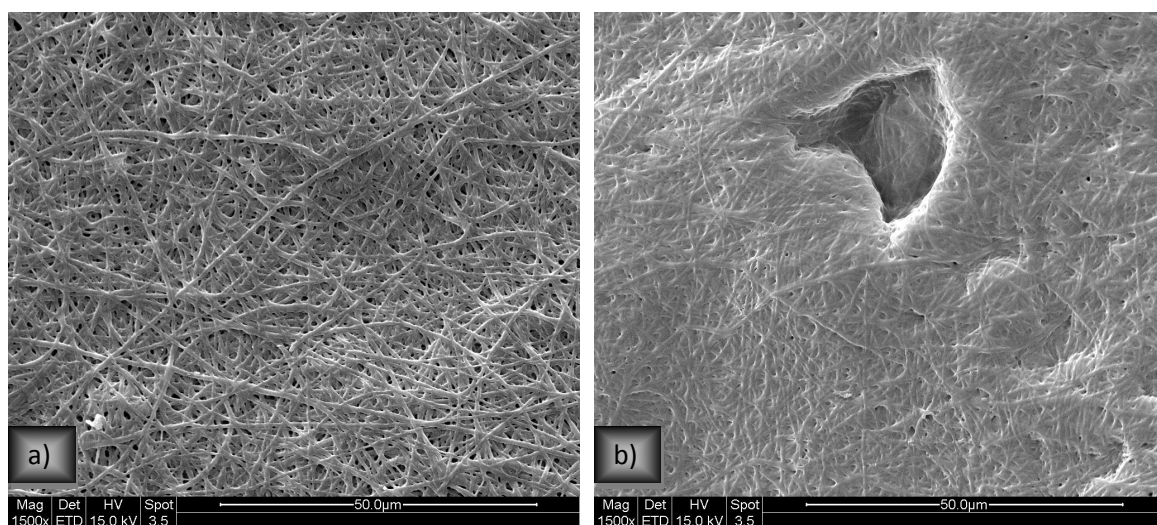
**Príloha 5** - Snímky nanovláknenných vrstiev pred a po kontakte s vodou a obrázky pre hodnotenie vrstiev po kontakte s vodou



*Obr. 1 Zosieťovaná nanovláknenná vrstva z PAA/PVA (6:4) pred a) a po b) kontakte s vodou*



*Obr. 2 Zosieťovaná nanovláknenná vrstva z PAA + PEO 10% pred a) a po b) kontakte s vodou*

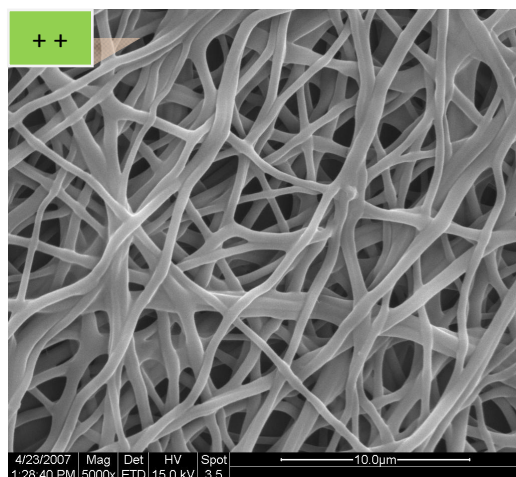


*Obr. 3 Zosieťovaná nanovláknenná vrstva z PAA + Gly 10% pred a) a po b) kontakte s vodou*

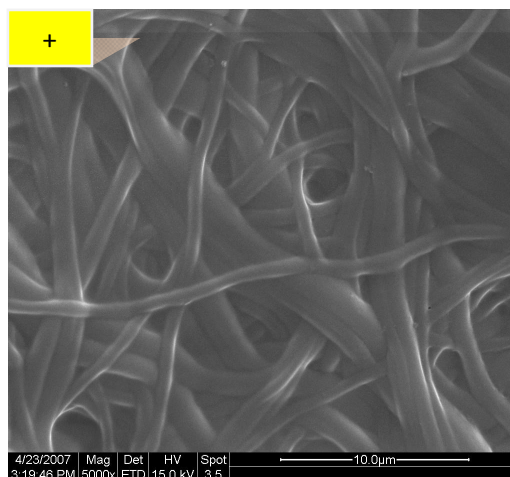


Použité znaky pri hodnotení vymytia nanovláknenných vrstiev:

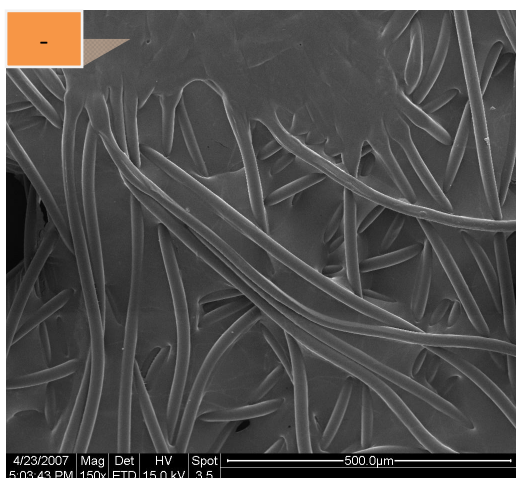
|    |   |
|----|---|
| -- | rozpustená vrstva                                     |
| -  | nerozpustená fólia                                    |
| +  | nerozpustená fólia s viditeľnou štruktúrou nanovláken |
| ++ | nerozpustené nanovlákná                               |



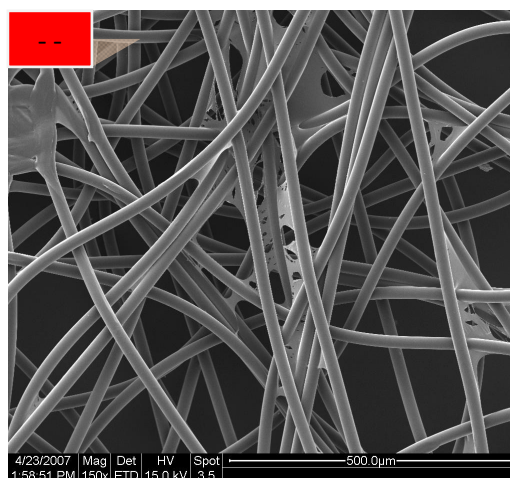
Vzorka PAA/PVA (4:6) – zväčšenie 5 000x



Vzorka PAA/PVA (6:4) – zväčšenie 5 000x



Vzorka PAA/PVA (5:5) – zväčšenie 1 000x



Vzorka PAA/PVA (4:6) – zväčšenie 1 000x

## Príloha 6 – Kontrakcie vzoriek

Tab. 1 Kontrakcie PAA v zmesi s PVA vplyvom sieťovania

| Vzorka           | sieťovanie   |           | šírka [mm] |     |     |         | dĺžka [mm] |     |     |         | priemer [mm] | kontrakcie [%] |
|------------------|--------------|-----------|------------|-----|-----|---------|------------|-----|-----|---------|--------------|----------------|
| pomer<br>PAA:PVA | teplota [°C] | čas [min] | pôvodná    | 1   | 2   | priemer | pôvodná    | 1   | 2   | priemer |              |                |
| 4:6              | 150          | 10        | 100        | 81  | 92  | 86,5    | 100        | 92  | 94  | 93      | 89,75        | 10,25          |
|                  | 150          | 30        | 100        | 93  | 93  | 93      | 100        | 92  | 93  | 92,5    | 92,75        | 7,25           |
|                  | 150          | 60        | 100        | 92  | 89  | 90,5    | 100        | 92  | 91  | 91,5    | 91,00        | 9,00           |
|                  | 120          | 10        | 100        | 100 | 100 | 100     | 100        | 100 | 100 | 100     | 100,00       | 0,00           |
|                  | 150          | 10        | 100        | 81  | 92  | 86,5    | 100        | 92  | 94  | 93      | 89,75        | 10,25          |
|                  | 170          | 10        | 100        | 85  | 88  | 86,5    | 100        | 82  | 91  | 86,5    | 86,50        | 13,50          |
| 5:5              | 150          | 10        | 100        | 96  | 87  | 91,5    | 100        | 94  | 93  | 93,5    | 92,50        | 7,50           |
|                  | 150          | 30        | 100        | 96  | 93  | 94,5    | 100        | 95  | 92  | 93,5    | 94,00        | 6,00           |
|                  | 150          | 60        | 100        | 92  | 87  | 89,5    | 100        | 93  | 87  | 90      | 89,75        | 10,25          |
|                  | 120          | 10        | 100        | 100 | 100 | 100     | 100        | 100 | 100 | 100     | 100,00       | 0,00           |
|                  | 150          | 10        | 100        | 96  | 87  | 91,5    | 100        | 94  | 93  | 93,5    | 92,50        | 7,50           |
|                  | 170          | 10        | 100        | 82  | 92  | 87      | 100        | 86  | 94  | 90      | 88,50        | 11,50          |
| 6:4              | 150          | 10        | 100        | 85  | 91  | 88      | 100        | 79  | 86  | 82,5    | 85,25        | 14,75          |
|                  | 150          | 30        | 100        | 96  | 90  | 93      | 100        | 92  | 94  | 93      | 93,00        | 7,00           |
|                  | 150          | 60        | 100        | 94  | 86  | 90      | 100        | 90  | 91  | 90,5    | 90,25        | 9,75           |
|                  | 120          | 10        | 100        | 100 | 100 | 100     | 100        | 100 | 100 | 100     | 100,00       | 0,00           |
|                  | 150          | 10        | 100        | 85  | 91  | 88      | 100        | 79  | 86  | 82,5    | 85,25        | 14,75          |
|                  | 170          | 10        | 100        | 92  | 80  | 86      | 100        | 91  | 85  | 88      | 87,00        | 13,00          |
| 7:3              | 150          | 10        | 100        | 73  | 66  | 69,5    | 100        | 75  | 70  | 72,5    | 71,00        | 29,00          |
|                  | 150          | 30        | 100        | 60  | 67  | 63,5    | 100        | 65  | 60  | 62,5    | 63,00        | 37,00          |
|                  | 150          | 60        | 100        | 56  | 62  | 59,0    | 100        | 65  | 60  | 62,5    | 60,75        | 39,25          |
|                  | 120          | 10        | 100        | 100 | 100 | 100     | 100        | 100 | 100 | 100     | 100,00       | 0,00           |
|                  | 150          | 10        | 100        | 78  | 78  | 78      | 100        | 75  | 89  | 82      | 80,00        | 20,00          |
|                  | 170          | 10        | 100        | 86  | 78  | 82      | 100        | 88  | 68  | 78      | 80,00        | 20,00          |
| 8:2              | 150          | 10        | 100        | 82  | 80  | 81      | 100        | 85  | 85  | 85      | 83,00        | 17,00          |
|                  | 150          | 30        | 100        | 70  | 72  | 71      | 100        | 65  | 70  | 67,5    | 69,25        | 30,75          |
|                  | 150          | 60        | 100        | 64  | 64  | 64      | 100        | 63  | 66  | 64,5    | 64,25        | 35,75          |
|                  | 120          | 10        | 100        | 100 | 100 | 100     | 100        | 100 | 100 | 100     | 100,00       | 0,00           |
|                  | 150          | 10        | 100        | 85  | 73  | 79      | 100        | 89  | 77  | 83      | 81,00        | 19,00          |
|                  | 170          | 10        | 100        | 58  | 75  | 66,5    | 100        | 54  | 84  | 69      | 67,75        | 32,25          |

Tab. 2 Kontrakcie POE v zmesi s PAA vplyvom siet'ovania

| Vzorka           | siet'ovanie     |           | šírka [mm] |    |    |         | dĺžka [mm] |    |     |         | priemer [mm] | kontrakcie [%] |
|------------------|-----------------|-----------|------------|----|----|---------|------------|----|-----|---------|--------------|----------------|
| pomer<br>PAA+PEO | teplota<br>[°C] | čas [min] | pôvodná    | 1  | 2  | priemer | pôvodná    | 1  | 2   | priemer |              |                |
| PAA + POE<br>5%  | 150             | 10        | 100        | 79 | 64 | 71,5    | 100        | 68 | 81  | 74,5    | 73,00        | 27,00          |
|                  | 150             | 30        | 100        | 73 | 75 | 74      | 100        | 87 | 63  | 75      | 74,50        | 25,50          |
|                  | 150             | 60        | 100        | 65 | 67 | 66      | 100        | 75 | 58  | 66,5    | 66,25        | 33,75          |
|                  | 120             | 10        | 100        | 96 | 91 | 93,5    | 100        | 97 | 90  | 93,5    | 93,50        | 6,50           |
|                  | 150             | 10        | 100        | 79 | 64 | 71,5    | 100        | 68 | 81  | 74,5    | 73,00        | 27,00          |
|                  | 170             | 10        | 100        | 79 | 69 | 74      | 100        | 68 | 82  | 75      | 74,50        | 25,50          |
| PAA + POE<br>10% | 150             | 10        | 100        | 57 | 59 | 58      | 100        | 44 | 60  | 52      | 55,00        | 45,00          |
|                  | 150             | 30        | 100        | 47 | 69 | 58      | 100        | 66 | 58  | 62      | 60,00        | 40,00          |
|                  | 150             | 60        | 100        | 46 | 64 | 55      | 100        | 58 | 61  | 59,5    | 57,25        | 42,75          |
|                  | 120             | 10        | 100        | 85 | 92 | 88,5    | 100        | 77 | 95  | 86      | 87,25        | 12,75          |
|                  | 150             | 10        | 100        | 57 | 59 | 58      | 100        | 44 | 60  | 52      | 55,00        | 45,00          |
|                  | 170             | 10        | 100        | 91 | 72 | 81,5    | 100        | 81 | 80  | 80,5    | 81,00        | 19,00          |
| PAA + POE<br>15% | 150             | 10        | 100        | 93 | 75 | 84      | 100        | 86 | 76  | 81      | 82,50        | 17,50          |
|                  | 150             | 30        | 100        | 76 | 83 | 79,5    | 100        | 88 | 71  | 79,5    | 79,50        | 20,50          |
|                  | 150             | 60        | 100        | 78 | 80 | 79      | 100        | 88 | 69  | 78,5    | 78,75        | 21,25          |
|                  | 120             | 10        | 100        | 97 | 92 | 94,5    | 100        | 94 | 87  | 90,5    | 92,50        | 7,50           |
|                  | 150             | 10        | 100        | 93 | 75 | 84      | 100        | 86 | 76  | 81      | 82,50        | 17,50          |
|                  | 170             | 10        | 100        | 82 | 73 | 77,5    | 100        | 80 | 75  | 77,5    | 77,50        | 22,50          |
| PAA + POE<br>20% | 150             | 10        | 100        | 75 | 80 | 77,5    | 100        | 75 | 72  | 73,5    | 75,50        | 24,50          |
|                  | 150             | 30        | 100        | 73 | 80 | 76,5    | 100        | 76 | 72  | 74      | 75,25        | 24,75          |
|                  | 150             | 60        | 100        | 71 | 72 | 71,5    | 100        | 69 | 80  | 74,5    | 73,00        | 27,00          |
|                  | 120             | 10        | 100        | 76 | 77 | 76,5    | 100        | 75 | 82  | 78,5    | 77,50        | 22,50          |
|                  | 150             | 10        | 100        | 75 | 80 | 77,5    | 100        | 75 | 72  | 73,5    | 75,50        | 24,50          |
|                  | 170             | 10        | 100        | 62 | 54 | 58      | 100        | 58 | 62  | 60      | 59,00        | 41,00          |
| PAA + POE<br>25% | 150             | 10        | 100        | 89 | 77 | 83      | 100        | 75 | 90  | 82,5    | 82,75        | 17,25          |
|                  | 150             | 30        | 100        | 80 | 85 | 82,5    | 100        | 76 | 79  | 77,5    | 80,00        | 20,00          |
|                  | 150             | 60        | 100        | 74 | 83 | 78,5    | 100        | 84 | 77  | 80,5    | 79,50        | 20,50          |
|                  | 120             | 10        | 100        | 98 | 96 | 97      | 100        | 93 | 100 | 96,5    | 96,75        | 3,25           |
|                  | 150             | 10        | 100        | 89 | 77 | 83      | 100        | 75 | 90  | 82,5    | 82,75        | 17,25          |
|                  | 170             | 10        | 100        | 94 | 95 | 94,5    | 100        | 73 | 95  | 84      | 89,25        | 10,75          |

Tab. 3 Kontrakcie Gly v zmesi s PAA vplyvom sieťovania

| Vzorka           | sieťovanie   |           | šírka [mm] |    |    |         | dĺžka [mm] |    |    |         | priemer [mm] | kontrakcie [%] |
|------------------|--------------|-----------|------------|----|----|---------|------------|----|----|---------|--------------|----------------|
|                  | teplota [°C] | čas [min] | pôvodná    | 1  | 2  | priemer | pôvodná    | 1  | 2  | priemer |              |                |
| PAA + Gly<br>5%  | 150          | 10        | 100        | 50 | 44 | 47      | 100        | 48 | 50 | 49      | 48,00        | 52,00          |
|                  | 150          | 30        | 100        | 54 | 49 | 51,5    | 100        | 54 | 63 | 58,5    | 55,00        | 45,00          |
|                  | 150          | 60        | 100        | 61 | 52 | 56,5    | 100        | 55 | 65 | 60      | 58,25        | 41,75          |
|                  | 120          | 10        | 100        | 65 | 57 | 61      | 100        | 52 | 62 | 57      | 59,00        | 41,00          |
|                  | 150          | 10        | 100        | 50 | 44 | 47      | 100        | 48 | 50 | 49      | 48,00        | 52,00          |
|                  | 170          | 10        | 100        | 53 | 48 | 50,5    | 100        | 47 | 60 | 53,5    | 52,00        | 48,00          |
| PAA + Gly<br>10% | 150          | 10        | 100        | 66 | 56 | 61      | 100        | 66 | 66 | 66      | 63,50        | 36,50          |
|                  | 150          | 30        | 100        | 55 | 67 | 61      | 100        | 58 | 81 | 69,5    | 65,25        | 34,75          |
|                  | 150          | 60        | 100        | 56 | 67 | 61,5    | 100        | 69 | 65 | 67      | 64,25        | 35,75          |
|                  | 120          | 10        | 100        | 70 | 66 | 68      | 100        | 64 | 67 | 65,5    | 66,75        | 33,25          |
|                  | 150          | 10        | 100        | 66 | 56 | 61      | 100        | 66 | 66 | 66      | 63,50        | 36,50          |
|                  | 170          | 10        | 100        | 54 | 58 | 56      | 100        | 63 | 66 | 64,5    | 60,25        | 39,75          |
| PAA + Gly<br>25% | 150          | 10        | 100        | 98 | 90 | 94      | 100        | 94 | 90 | 92      | 93,00        | 7,00           |
|                  | 150          | 30        | 100        | 96 | 90 | 93      | 100        | 87 | 90 | 88,5    | 90,75        | 9,25           |
|                  | 150          | 60        | 100        | 77 | 94 | 85,5    | 100        | 96 | 94 | 95      | 90,25        | 9,75           |
|                  | 120          | 10        | 100        | 98 | 97 | 97,5    | 100        | 99 | 97 | 98      | 97,75        | 2,25           |
|                  | 150          | 10        | 100        | 98 | 90 | 94      | 100        | 94 | 90 | 92      | 93,00        | 7,00           |
|                  | 170          | 10        | 100        | 86 | 93 | 89,5    | 100        | 98 | 93 | 95,5    | 92,50        | 7,50           |